



TUGAS AKHIR - MO 141326

ANALISIS ALIRAN FLUIDA DAN TEGANGAN PADA *PIPELINE*
DENGAN BERBAGAI VARIASI TIPE *EXPANSION LOOP*

Moh. 'Azzam Nashrullah 'Ubaid

NRP. 04311440000042

DOSEN PEMBIMBING:

Ir. Wisnu Wardhana, M.Sc., Ph.D.

Prof. Eko Budi Djatmiko, M.Sc., Ph.D.

DEPARTEMEN TEKNIK KELAUTAN

FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA

2018



FINAL PROJECT - MO 141326

FLUID FLOW AND STRESS ANALYSIS ON PIPELINE WITH
VARIOUS TYPES OF EXPANSION LOOP

Moh. 'Azzam Nashrullah 'Ubaid

REG. NUMBER 04311440000042

SUPERVISORS:

Ir. Wisnu Wardhana, M.Sc., Ph.D.

Prof. Eko Budi Djatmiko, M.Sc., Ph.D.

DEPARTEMENT OF OCEAN ENGINEERING

FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY

SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY

SURABAYA

2018



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

**FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
DEPARTEMEN TEKNIK KELAUTAN**

Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111

Telp. (031) 5928105, 5994251-55 Ext. 1105

Fax. : (031) 5928105

E-mail: kajur_tkelautan@oe.its.ac.id

**ANALISIS ALIRAN FLUIDA DAN TEGANGAN PADA *PIPELINE*
DENGAN BERBAGAI VARIASI TIPE *EXPANSION LOOP***

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada Program Studi S-1 Departemen Teknik Kelautan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Oleh :

Moh. 'Azzam Nashrullah 'Ubaid

NRP. 043114410000042

Disetujui Oleh :

1. Ir. Wisnu Wardhana, M.Sc., Ph.D. (Pembimbing 1)

2. Prof. Eko Budi Djatmiko, M.Sc., Ph.D. (Pembimbing 2)

3. Yoyok Setyo Hadiwidodo, S.T., M.T., Ph.D. (Penguji 1)

4. Ir. Mas Murtedjo, M.Eng. (Penguji 2)

Surabaya, Januari 2018

ANALISIS ALIRAN FLUIDA DAN TEGANGAN PADA *PIELINE* DENGAN BERBAGAI VARIASI TIPE *EXPANSION*

Nama Mahasiswa : Moh. ‘Azzam Nashrullah ‘Ubaid
NRP : 043114410000042
Jurusan : Teknik Kelautan
Dosen Pembimbing : Ir. Wisnu Wardhana, M.Sc., Ph.D.
Prof. Eko Budi Djatmiko, M.Sc., Ph.D.

Abstrak

Expansion loop pada pipa diperlukan agar defleksi yang terjadi dapat diserap sehingga pipa tidak mengalami pembengkokan. Namun dengan adanya perubahan aliran internal pipa akan menyebabkan terjadinya turbulensi fluida yang dapat mempengaruhi tegangan pada bagian pipa tersebut. Analisa tegangan dilakukan untuk mengetahui apakah tegangan yang terjadi pada variasi *expansion loop* tipe L, U, Z *elbow* 90° dan 45° dengan variasi pertambahan panjang lengan masih berada pada batas aman atau tidak. Pola aliran dan kecepatan aliran dapat diketahui dengan menggunakan *software* ANSYS Multiphysics, sedangkan nilai tegangan kombinasi (*Von-Mises*) dan *deflection* didapatkan dengan bantuan *software* AutoPipe. Dari hasil analisa menunjukkan bahwa jenis pola aliran yang terjadi di setiap *expansion loop* adalah turbulen. Besar tegangan yang terjadi berdasarkan ASME B31.8 masih dalam batas aman yaitu tegangan *von-mises* kurang dari 405.5 MPa untuk setiap variasi tipe *expansion loop*.

Kata kunci : tegangan, defleksi, *expansion loop*, aliran internal

FLUID FLOW AND STRESS ANALYSIS ON *PIPELINE* WITH VARIOUS TYPES OF *EXPANSION LOOP*

Name : Moh. ‘Azzam Nashrullah ‘Ubaid
Registration : 043114410000042
Department : Department of Ocean Engineering
Supervisors : Ir. Wisnu Wardhana, M.Sc., Ph.D.
Prof. Eko Budi Djatmiko, M.Sc., Ph.D.

Abstract

Expansion loop are built in pipes to allow for deflection of the pipes and to prevent bending. However, a change of the pipes’ internal flow can cause turbulence of the fluid flow which creates stress on the pipes. The stress analysis is conducted to figure out whether the stress that occurs at L, U, Z elbow 90° and 45° expansion loop types with various additional arm lengths are still below safety limits. The flow pattern and velocity are obtained from ANSYS Multiphysics software, while the stress combination (Von – Mises) and deflection values are obtained with the AutoPipe software. The results of the analysis show that the flow pattern in all the expansion loop variations are turbulent. The stress that occurs in each variation are still below the safety limit based on ASME B31.8 which is a von – mises stress of 405 MPa.

Keyword : stress, deflection, expansion loop, internal flow

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Puji syukur kepada Allah SWT karena atas rahmat dan karunia-Nya kepada penulis, sehingga dalam kesempatan penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “**Analisis Aliran Fluida dan Tegangan pada Berbagai Variasi Tipe Expansion Loop untuk Zawtika Pipeline Project PT. Gunanusa Utama Fabrikator**” dengan baik, lancar, dan tepat waktu.

Penulisan Tugas Akhir ini disusun guna memenuhi salah satu persyaratan dalam menyelesaikan studi Kesarjanaan (S-1) di Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan (FTK), Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya (ITS). Tujuan pada pengerjaan Tugas Akhir ini yakni untuk mengetahui seberapa besar pengaruh aliran fluida terhadap tegangan yang terjadi pada pipa bagian *expansion loop* dengan memvariasikan sudut *elbow* dan perpanjangan lengan.

Penulis menyadari dalam penulisan laporan tugas akhir ini masih jauh dari kesempurnaan, oleh karena itu masukan dalam bentuk saran dan kritik dari semua pihak yang bersifat membangun akan sangat membantu penulis sebagai penyempurnaan untuk penelitian selanjutnya. Penulis berharap semoga laporan tugas akhir ini bermanfaat bagi perkembangan dalam bidang teknologi kelautan, bagi pembaca pada umumnya dan penulis pada khususnya.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Surabaya, Januari 2017

Moh. ‘Azzam Nashrullah ‘Ubaid

UCAPAN TERIMA KASIH

Dalam pengerjaan tugas akhir selama 6 bulan lamanya, penulis telah mendapatkan dukungan dan bantuan dari berbagai pihak baik sebelum mengambil tugas akhir, saat mengerjakan maupun setelah mengerjakan tugas akhir. Oleh karena itu, dalam rangka perampungan tugas akhir ini, penulis menyampaikan terima kasih kepada :

1. Allah SWT karena atas nikmat dan karunia-Nya penulis diberi kekuatan dan kesehatan dalam menghadapi segala macam ujian.
2. Orang tua penulis yang secara tulus ikhlas memberikan doa dan panutan.
3. Ir. Wisnu Wardhana, M.Sc., Ph.D. dan Prof. Eko Budi Djatmiko, M.Sc., Ph.D. yang telah membimbing penulis dengan sabar dan ikhlas.
4. Kadep Teknik Kelautan serta keluarga besar dosen dan karyawan atas bimbingan dan dukungan selama masa perkuliahan.
5. Bapak Dr. Eng. Rudi Walujo Prastianto, S.T., M.T. selaku dosen wali penulis yang sangat baik hati memberi pinjaman ruangan dan komputer.
6. Rasyid Ridha dan Galura selaku *partner* himpunan 16/17 yang telah mendukung dan mempercayai kapasitas penulis.
7. Rekan-rekan seperjuangan 3.5 tahun yang selalu mengingatkan *deadline*.
8. Salva, Galura, Cibot, dan Acong yang telah membantu penyusunan buku tugas akhir ini.
9. Maelstrom P54 L32 yang sangat kompak memberi dukungan pada kami para pengejar nikah cepat.
10. Kakak-kakak Varuna, Valtameri dan adik-adik Tritonous, Adhiwamastya (Daris, Inez, Nuy, Revy, Vanti, Yoha, Biru, dll) yang telah mengajarkan penulis makna keluarga dan bahagia.
11. “Seseorang” yang jauh disana, terima kasih banyak karena telah menjadi motivasi penulis selama ini.

Mohon maaf karena penulis tidak dapat menyebutkan semuanya satu-satu disini, teriring doa dan bangga terhadap kalian semoga segala kebaikan mendapat balasan yang lebih baik dari Allah SWT. Amin.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK.....	v
ABSTRACT.....	vii
KATA PENGANTAR	ix
UCAPAN TERIMA KASIH	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR GRAFIK	xxi
DAFTAR LAMPIRAN	xxiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	4
1.3 Tujuan	4
1.4 Manfaat	4
1.5 Batasan Masalah	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI	5
2.1 Tinjauan Pustaka	5
2.2 Dasar Teori	6
2.2.1 Sistem Perpipaan	6
2.2.2 <i>Buckling</i>	8
2.2.2.1. <i>Local Buckling</i>	9
2.2.2.2 <i>Propagation Buckling</i>	12
2.2.3 Konsep Umum <i>Expansion Loop</i>	14
2.2.4 Aliran Fluida dalam Pipa	18
2.2.5 Bilangan Reynold	19
2.2.6 Teori Tegangan	21
2.2.7 Tegangan Hoop	21
2.2.8 Tegangan Longitudinal	22

2.2.9 Tegangan Kombinasi Ekvivalen	25
BAB III METODE PENELITIAN	27
3.1 Metode Penelitian	27
3.2 Prosedur Penelitian	29
3.3 Jadwal Aktivitas	31
BAB IV HASIL ANALISIS DAN PEMBAHASAN	33
4.1 Perhitungan Manual dan Syarat ASME B31.3	33
4.1.1 Perhitungan Besar Ekspansi	33
4.1.2 Koreksi ASME B 31.3	33
4.1.3 Pemilihan Dimensi <i>Loop</i>	33
4.1.4 Perhitungan Kecepatan Aliran Inlet	35
4.1.5 Analisa Pola Aliran Manual	35
4.2 Pemodelan <i>Expansion Loop</i> dengan Komputer	36
4.2.1 Pemodelan Pipa Menggunakan <i>Software</i> SolidWork	36
4.2.2 Pemodelan Aliran Fluida Menggunakan <i>Software</i> ANSYS Multiphysics	40
4.3. Hasil Pola Aliran dan <i>Output Magnitude Velocity</i> Software ANSYS ..	43
4.4 Hasil <i>Output Pressure</i> Hasil Pemodelan ANSYS	51
4.5 Hasil Nilai Tegangan	53
4.6 Hasil Nilai Defleksi	61
4.7 Koreksi Software dan Manual	65
4.8 Komparasi Pola Aliran dan Tegangan	67
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	73
5.1 Kesimpulan	73
5.2 Saran	73
DAFTAR PUSTAKA	75
LAMPIRAN	
BIODATA PENULIS	

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Faktor Desain (<i>General case</i>)	11
Tabel 2.2. Faktor Desain ($\frac{D}{t}$ tipikal)	12
Tabel 2.3. Tegangan ijin masing-masing kondisi	21
Tabel 3.1. Data Pipa Diameter 14”	29
Tabel 3.2. Data Fluida	29
Tabel 3.3 Variasi <i>Expansion Loop</i>	31
Tabel 3.4 Jadwal aktivitas	32
Tabel 4.1. Nilai <i>Magnitude Velocity Expansion Loop</i> Tipe L	50
Tabel 4.2. Nilai <i>Magnitude Velocity Expansion Loop</i> Tipe U	50
Tabel 4.3. Nilai <i>Magnitude Velocity Expansion Loop</i> Tipe Z	50
Tabel 4.4. Nilai <i>Pressure Output Expansion Loop</i> Tipe L	51
Tabel 4.5. Nilai <i>Pressure Output Expansion Loop</i> Tipe U	52
Tabel 4.6. Nilai <i>Pressure Output Expansion Loop</i> Tipe Z	52
Tabel 4.7. <i>Expansion Loop</i> Tipe L	60
Tabel 4.8. <i>Expansion Loop</i> Tipe U	61
Tabel 4.9. <i>Expansion Loop</i> Tipe Z	61
Tabel 4.10. <i>Expansion Loop</i> Tipe L	62
Tabel 4.11. <i>Expansion Loop</i> Tipe U	63
Tabel 4.12. <i>Expansion Loop</i> Tipe Z	63
Tabel 4.13. Perhitungan Tegangan <i>Hoop</i>	65
Tabel 4.14. Perhitungan Tegangan <i>Longitudinal</i>	65
Tabel 4.15. Perhitungan Tegangan Von-Mises	66
Tabel 4.16. Koreksi tegangan perhitungan <i>software</i> dengan manual	66

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 <i>Expansion Loop</i>	2
Gambar 1.2 <i>General Arrangement Pipeline IP-09 Zawtika Project</i>	3
Gambar 2.1 Sistem perpipaan bawah laut	7
Gambar 2.2 Proses ovalisasi akibat <i>local buckling</i>	8
Gambar 2.3 Ilustrasi <i>upheaval buckling</i>	9
Gambar 2.4 Jenis-jenis umum <i>propagation buckling</i>	13
Gambar 2.5 <i>Pipe Expansion ASME 31.3</i>	15
Gambar 2.6 Desain ekspansi loop tipe U	16
Gambar 2.7 Desain ekspansi loop tipe Z	16
Gambar 2.8 Desain ekspansi loop tipe L/elbow	17
Gambar 2.9 Desain <i>expansion</i> loop menggunakan Diagram M. W. Kellog	17
Gambar 2.10 Nomograf untuk menentukan ukuran <i>expansion loop</i>	18
Gambar 2.11 Aliran Laminar dan Aliran Turbulen (DOE, 1996)	20
Gambar 2.12 Arah hoop stress terhadap potongan melintang pipa	21
Gambar 2.13 <i>Longitudinal stress</i> pada cross section pipa	22
Gambar 2.14 Ilustrasi <i>thermal stress</i>	23
Gambar 2.15 Ilustrasi <i>poisson's effect</i>	24
Gambar 3.1 Diagram alir	27
Gambar 3.1 Diagram alir (Lanjutan).....	28
Gambar 4.1 Hasil penentuan ukuran <i>expansion loop</i> berdasarkan Nomograf M.W.Kellog	34
Gambar 4.2 Penentuan dimensi <i>loop</i> berdasarkan ThermacorData.....	35
Gambar 4.3 <i>Expansion Loop</i> Tipe L 90°	36
Gambar 4.4 <i>Expansion Loop</i> Tipe L 45° 2,0 m	37
Gambar 4.5 <i>Expansion Loop</i> Tipe L 45° 4,0 m	37
Gambar 4.6 <i>Expansion Loop</i> Tipe L 45° 6,0 m	37
Gambar 4.7 <i>Expansion Loop</i> Tipe U 90°	38
Gambar 4.8 <i>Expansion Loop</i> Tipe U 45° 0,5 m	38
Gambar 4.9 <i>Expansion Loop</i> Tipe U 45° 1,0 m	38
Gambar 4.10 <i>Expansion Loop</i> Tipe U 45° 1,5 m	39
Gambar 4.11 <i>Expansion Loop</i> Tipe Z 90°	39

Gambar 4.12 <i>Expansion Loop</i> Tipe Z 45° 0,5 m	39
Gambar 4.13 <i>Expansion Loop</i> Tipe Z 45° 1,0 m	40
Gambar 4.14 <i>Expansion Loop</i> Tipe Z 45° 1,5 m	40
Gambar 4.15 Hasil <i>import</i> model SolidWork ke ANSYS.....	41
Gambar 4.16 Hasil pemodelan geometri fluida pada ANSYS.....	41
Gambar 4.17 Hasil <i>meshing</i> fluida pada <i>Software</i> ANSYS.....	42
Gambar 4.18 Proses <i>input</i> data dan parameter pada <i>Software</i> ANSYS.....	42
Gambar 4.19 Hasil <i>running iteration</i> pada ANSYS.....	44
Gambar 4.20 Pemodelan Fluida pada <i>Expansion Loop</i> Tipe L 90°	44
Gambar 4.21 Pemodelan Fluida pada <i>Expansion Loop</i> Tipe L 45° 2,0 m	44
Gambar 4.22 Pemodelan Fluida pada <i>Expansion Loop</i> Tipe L 45° 4,0 m	45
Gambar 4.23 Pemodelan Fluida pada <i>Expansion Loop</i> Tipe L 45° 6,0 m	45
Gambar 4.24 Pemodelan Fluida pada <i>Expansion Loop</i> Tipe U 90°	46
Gambar 4.25 Pemodelan Fluida pada <i>Expansion Loop</i> Tipe U 45° 0,5 m	46
Gambar 4.26 Pemodelan Fluida pada <i>Expansion Loop</i> Tipe U 45° 1,0 m	47
Gambar 4.27 Pemodelan Fluida pada <i>Expansion Loop</i> Tipe U 45° 1,5 m	47
Gambar 4.28 Pemodelan Fluida pada <i>Expansion Loop</i> Tipe Z 90°	48
Gambar 4.29 Pemodelan Fluida pada <i>Expansion Loop</i> Tipe Z 45° 0,5 m	48
Gambar 4.30 Pemodelan Fluida pada <i>Expansion Loop</i> Tipe Z 45° 1,0 m	49
Gambar 4.31 Pemodelan Fluida pada <i>Expansion Loop</i> Tipe Z 45° 1,5 m	49
Gambar 4.32. <i>Stress Value</i> pada <i>Expansion Loop</i> Tipe L 90°	54
Gambar 4.33. <i>Stress Value</i> pada <i>Expansion Loop</i> Tipe L 45° (2,0 m)	55
Gambar 4.34. <i>Stress Value</i> pada <i>Expansion Loop</i> Tipe L 45° (4,0 m)	55
Gambar 4.35. <i>Pressure Output</i> pada <i>Expansion Loop</i> Tipe L 45° (6,0 m)	56
Gambar 4.36. <i>Pressure Output</i> pada <i>Expansion Loop</i> Tipe U 90°	56
Gambar 4.37. <i>Pressure Output</i> pada <i>Expansion Loop</i> Tipe U 45° (0,5 m)	57
Gambar 4.38. <i>Pressure Output</i> pada <i>Expansion Loop</i> Tipe U 45° (1,0 m)	57
Gambar 4.39. <i>Pressure Output</i> pada <i>Expansion Loop</i> Tipe U 45° (1,5 m)	58
Gambar 4.40. <i>Pressure Output</i> pada <i>Expansion Loop</i> Tipe Z 90°	58
Gambar 4.41. <i>Pressure Output</i> pada <i>Expansion Loop</i> Tipe Z 45° (0,5 m)	59
Gambar 4.42. <i>Pressure Output</i> pada <i>Expansion Loop</i> Tipe Z 45° (1,0 m)	59
Gambar 4.43. <i>Pressure Output</i> pada <i>Expansion Loop</i> Tipe Z 45° (1,5 m)	60

Gambar 4.44. Perbandingan Tegangan dan Pola Aliran pada <i>Loop</i> Tipe L90°...	67
Gambar 4.45. Perbandingan Tegangan dan Pola Aliran pada <i>Loop</i> Tipe L 45° (2m)	67
Gambar 4.46. Perbandingan Tegangan dan Pola Aliran pada <i>Loop</i> Tipe L 45° (4m)	68
Gambar 4.47. Perbandingan Tegangan dan Pola Aliran pada <i>Loop</i> Tipe L 45° (6m)	68
Gambar 4.48. Perbandingan Tegangan dan Pola Aliran pada <i>Loop</i> Tipe U90°..	69
Gambar 4.49. Perbandingan Tegangan dan Pola Aliran pada <i>Loop</i> Tipe U 45° (0,5 m)	69
Gambar 4.50. Perbandingan Tegangan dan Pola Aliran pada <i>Loop</i> Tipe U 45° (1,0 m)	70
Gambar 4.51. Perbandingan Tegangan dan Pola Aliran pada <i>Loop</i> Tipe U 45° (1,5 m)	70
Gambar 4.52. Perbandingan Tegangan dan Pola Aliran pada <i>Loop</i> Tipe Z90°..	71
Gambar 4.53. Perbandingan Tegangan dan Pola Aliran pada <i>Loop</i> Tipe Z 45° (0,5 m)	71
Gambar 4.54. Perbandingan Tegangan dan Pola Aliran pada <i>Loop</i> Tipe Z 45° (1,0 m)	72
Gambar 4.55. Perbandingan Tegangan dan Pola Aliran pada <i>Loop</i> Tipe U 45° (1,5 m)	72

DAFTAR GRAFIK

Grafik 4.1. Nilai <i>Magnitude Velocity Expansion Loop</i>	51
Grafik 4.2. Nilai <i>Output Pressure Expansion Loop</i>	53
Grafik 4.3. Nilai <i>Maximum Stress Expansion Loop</i>	61
Grafik 4.4. Nilai <i>Maximum Deflection Expansion Loop</i>	63

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A GENERAL ARRANGEMENT PROJECT

LAMPIRAN B HASIL RUNNING ANSYS

LAMPIRAN C HASIL RUNNING AUTOPIPE

BAB I

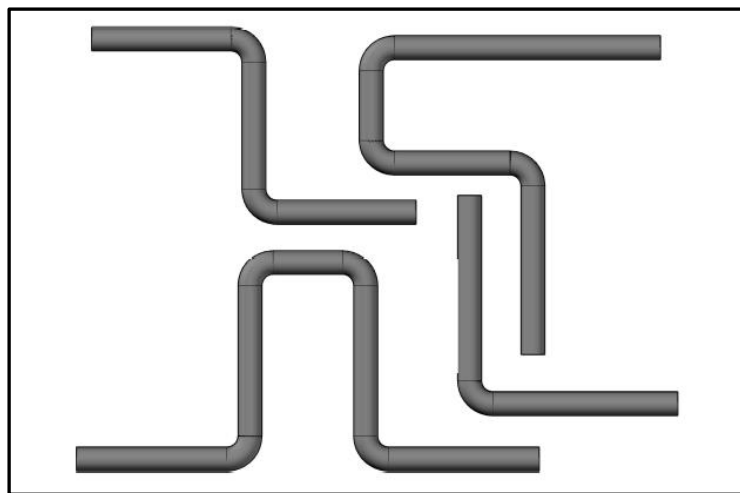
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Teknologi pemindahan minyak bumi dan gas dari fasilitas *offshore* ke *plant* atau *onshore* ke *onshore* dengan menggunakan pipa lebih banyak disukai dibanding menggunakan kapal (Soegiono, 2007). Meskipun sistem perpipaan hanya mampu mendistribusikan dalam jarak yang relatif terbatas dan memerlukan pemeliharaan berkelanjutan yang lebih sering, namun beberapa teori telah menunjukkan bahwa sistem jaringan pipa merupakan alat transportasi migas yang paling efisien dan ekonomis, terbukti dengan menggunakan *pipeline* maka biaya transportasi berkurang menjadi seperlimanya daripada menggunakan kapal (Ramadhan, 2015). Instalasi pipa harus dirancang sedemikian rupa supaya aman, efisien, dan handal dalam prosesnya meskipun pada penerapannya ada beberapa masalah yang timbul.

Mengacu pada Keputusan Menteri Pertambangan dan Energi Nomor 300.K/38/M.PE/1997 Pasal 13 Ayat 3 menjelaskan bahwa pipa bawah laut wajib ditanam sekurang-kurangnya 2 meter dari dasar laut (*seabed*) untuk kedalaman laut kurang dari 13 meter. Pada kedalaman lebih dari 13 meter pipa boleh diletakkan di dasar laut dengan dilengkapi sistem pemberat agar pipa tidak bergeser atau berpindah. Alasan utama dilakukannya penguburan pipa penyalur tersebut di bawah tanah adalah untuk melindungi jalur pipa dari kemungkinan kerusakan akibat aktivitas yang mungkin terjadi di atasnya (Palmer, 1990). Beberapa aktivitas tersebut diantaranya adalah tubrukan, angin, dan segala hal yang dapat mempengaruhi struktur pada pipa baja tersebut (Aulia, 2014). Selain itu, pembuatan parit untuk pipa (*trenching of pipelines*) biasanya dilakukan di daerah jalur kapal beroperasi untuk menghindari kejatuhan jangkar maupun *trawl gear* nelayan, kondisi lingkungan yang berarus kuat, serta di daerah dekat pantai (Negara, 2009). Selain itu, kegagalan pipa dapat berupa pembengkokan atau biasa disebut *upheaval buckling* yaitu kegagalan pipa berupa deformasi tekukan yang bisa

terjadi baik pada dinding pipa maupun seluruh bagian pipa. Kegagalan deformasi ini menyebabkan pipa menekuk vertikal ke atas (Hariono, 2014). Menurut Prayoga (2011) banyak faktor yang menyebabkan *upheaval buckling* terjadi pada saat kondisi operasinya antara lain *internal pressure* dan *temperature fluida* maupun lingkungan. Pada saat pipa beroperasi maka pipa akan menerima beban tekanan internal dan beban termal dari fluida yang dialirkan melalui pipa. Beban yang ditanggung oleh sistem perpipaan tersebut akan menyebabkan pipa berada dalam kondisi tegang. Meskipun material pipa juga memiliki ketahanan terhadap tegangan, pipa tersebut pada akhirnya akan mengalami kegagalan jika tegangan yang terjadi melebihi *allowable stress* yang dimiliki oleh material pipa tersebut (Harja, 2015). Desain sistem instalasi dan operasi pipa haruslah mendukung supaya kegagalan dapat diminimalisir. Berliner (1974) juga telah melakukan penelitian dan menemukan bahwa pemuaian yang terjadi pada pipa dapat ditahan dengan adanya simpul pada pipa (*expansion loop*). Rahman (2012) juga telah menjelaskan analisa penyebab terjadinya *upheaval buckling* dan cara pemasangan *expansion loop* yang akan dilakukan setelah terjadinya kegagalan *upheaval buckling*.

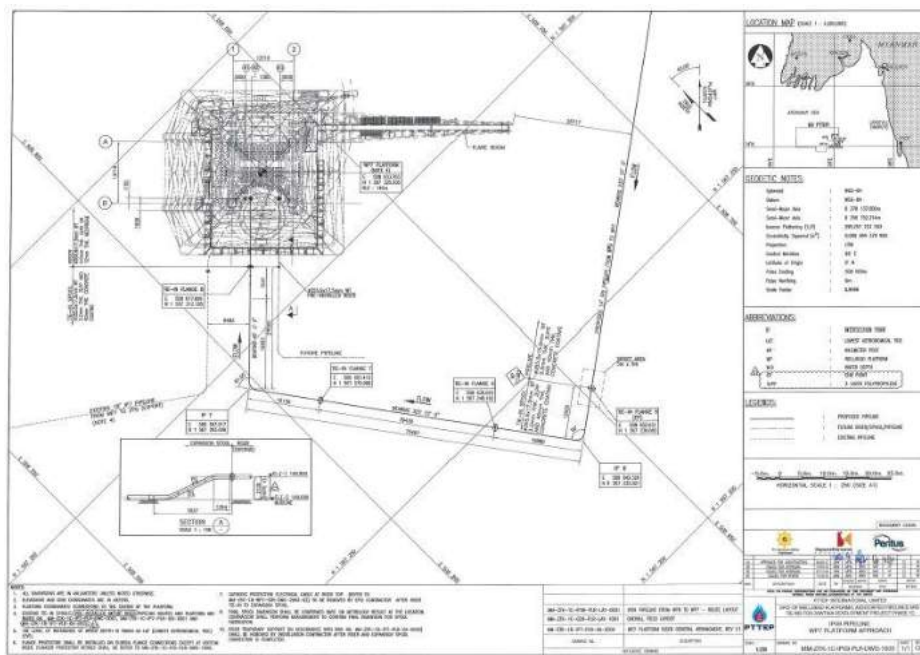


Gambar 1.1 Ilustrasi *Expansion Loop*

Namun, pemasangan *expansion loop* dapat menimbulkan masalah baru dikarenakan adanya perubahan pola perpipaan maka akan mengakibatkan perubahan aliran. Aliran dalam saluran pipa umumnya dititik beratkan pada pola distribusi kecepatannya. Fenomena-fenomena fluida di dalam pipa

berkaitan dengan perubahan kecepatan, macam aliran (laminar, turbulen, atau kombinasi) dan perubahan bentuk penampang pipa. Hal tersebut dapat memberikan beban internal yang cukup signifikan untuk mempengaruhi tegangan yang terjadi pada pipa. Jika tegangan yang terjadi melebihi tegangan ijin material pipa maka akan dapat merusak pipa tersebut.

Berdasarkan aspek kewanaman operasinya, beban internal yang bekerja harus mampu ditahan oleh sebuah sistem perpipaan, yaitu fluida yang mengalir di dalamnya. Salah satu fenomena yang perlu diperhatikan dalam perancangan suatu sistem pipa penyalur bawah laut adalah tegangan yang timbul akibat beban tersebut. Dampak dari tegangan yang melebihi batas dapat berupa perpindahan posisi dan geometri pada bagian sistem perpipaan (*loop*) tersebut. Pada penelitian tugas akhir ini akan lebih membahas mengenai analisa tegangan *expansion loop* pada *Zawtika Pipeline Project*.



Gambar 1.2 General Arrangement Pipeline IP-09 Zawtika Project

Pipeline IP-09 (WP9 to WP7) akan dijadikan bahan dalam analisa tegangan dengan memvariasikan tipe *expansion loop*. Sehingga diharapkan penelitian tugas akhir ini dapat membantu mengatasi kegagalan sistem perpipaan yang diakibatkan oleh adanya tegangan akibat beban internal serta dapat dijadikan pertimbangan dalam memilih tipe *expansion loop* yang tepat dan memenuhi batas aman tegangan dengan mengacu pada ASME B31.3.

1.2 Perumusan Masalah

1. Bagaimana pengaruh variasi tipe *loop* terhadap pola aliran di dalam pipa?
2. Bagaimana *velocity* yang terjadi pada setiap tipe *loop* di dalam pipa?
3. Bagaimana tegangan dan defleksi setiap tipe *expansion loop* dengan adanya aliran internal?

1.3 Tujuan

1. Mengetahui pengaruh variasi tipe *loop* terhadap pola aliran di dalam pipa.
2. Mengetahui *velocity* yang terjadi pada setiap tipe *loop* di dalam pipa.
3. Mengetahui tegangan dan defleksi setiap tipe *expansion loop* dengan adanya aliran internal.

1.4 Manfaat

Manfaat dari penelitian ini adalah dapat memberikan informasi mengenai karakteristik dari *expansion loop* tipe *loop* U, L, Z, dan Variasi. Sehingga diharapkan dapat menjadi acuan dalam pemilihan penggunaan *expansion loop* tipe U, L, Z, dan Variasi pada perancangan suatu sistem perpipaan yang tepat, sehingga kegagalan pipa pada bagian *loop* akibat tegangan dapat dihindari.

1.5 Batasan Masalah

Permasalahan akan dibatasi pada hal-hal berikut :

1. Beban yang bekerja adalah beban *internal pressure*.
2. Pengaruh eksternal pipa tidak diperhitungkan.
3. Tegangan sisa yang dialami pipa setelah instalasi tidak diperhitungkan.
4. Akibat korosi tidak dibahas lebih lanjut.
5. Pipa menggunakan material *carbon steel*.

Batasan masalah variasi jenis *loop* yang digunakan untuk analisis adalah :

1. Variasi tipe *loop* berbentuk U, L, Z, dan Variasi elbow 90° dan 45°.
2. *Loop* pada sistem perpipaan diasumsikan belum mengalami cacat.
3. Sudut kemiringan *loop* tidak diperhitungkan dalam analisa.

Sedangkan untuk analisis aliran fluida adalah dengan menggunakan asumsi :

1. Fluida yang dialirkan yaitu *hydrocarbon (gas)*.
2. Dinding pipa bagian dalam dianggap halus (*smooth wall*)
3. Analisa hidrodinamika internal fluida hanya untuk pola aliran dan laju alir

BAB II

TINJAUAN PUSAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Pipa bawah laut yang biasa disebut *pipeline* merupakan salah satu cara yang digunakan oleh perusahaan *oil and gas* untuk menyalurkan hasil produksinya dari *platform* ke daratan atau dari daratan ke daratan. Dalam perancangan pipa bawah laut diperlukan beberapa pertimbangan yang matang terutama untuk menghindari masalah-masalah yang mungkin muncul ketika pipa sedang beroperasi. Adanya perbedaan suhu dapat menyebabkan elongasi pada pipa sehingga pipa akan mengalami pembengkokan (*buckling*). Gaya aksial yang berubah menjadi gaya tekan ke atas juga berperan penting dalam proses deformasi pada pipa. Hal tersebut dapat diatasi dengan cara dikubur (*buried*) pada kedalaman tertentu. Namun, untuk pipa yang tidak dikubur terdapat beberapa pencegahan lain yang dapat dilakukan salah satunya dengan metode *expansion loop* pada bagian pipa yang kemungkinan mengalami deformasi atau kegagalan.

Penambahan *loop* pada sistem perpipaan atau dalam kasus ini *pipeline* akan menyebabkan perubahan pola aliran dalam pipa itu sendiri. Aliran fluida dalam pipa penyalur hidrokarbon dipengaruhi oleh tekanan, temperatur fluida dan dimensi pipa alir yang digunakan. Temperatur dan perubahan tekanan menyebabkan adanya aliran *compressible* dan *incompressible* dapat disebabkan oleh beberapa laminar, antara lain adanya kemiringan pada pipa alir yang ditandai dengan perbedaan elevasi pada titik awal fluida mengalir dengan elevasi pada titik akhir. Faktor lain adalah diameter pipa yang digunakan, laju alir fluida pada saat mengalir dan temperatur lingkungan (Setiawan, 2003).

Fluida diartikan sebagai zat yang bergerak dan dapat berubah bentuk secara kontinyu/ terus menerus dan berkesinambungan apabila dibebani dengan tegangan geser betapapun kecilnya. Menurut Munson (2002), Gaya geser adalah komponen gaya yang menyinggung permukaan, dan gaya ini yang

dibagi dengan luas permukaan tersebut adalah tegangan geser rata-rata pada permukaan itu.

Benda padat selalu mempertahankan bentuk dan volume sampai batas kemampuannya sehingga mengalami deformasi. Sedangkan benda gas akan bebas berekspansi sampai adanya batas yang membendung. Benda gas akan membentuk atmosfer dan apabila tidak ada penghalang maka akan menyatu dengan atmosfer alam. Sehingga benda gas akan lebih dominan terhadap perubahan volum. Dengan demikian, benda gas mempunyai ciri spesifik yaitu adanya penambahan volum atau perubahan tekanan, perubahan kerapatan massa atau densitas (Munson, 2002).

Fenomena aliran fluida dalam pipa berkaitan dengan perubahan kecepatan, macam aliran (laminar, turbulen atau transisi) dan perubahan bentuk penampang memanjang pipa (Schlichting, 1979). Aliran fluida yang melalui pelat sejajar memiliki distribusi kecepatan yang berbeda-beda sepanjang lintasan sampai pola aliran berbentuk dengan sempurna (*fully developed*).

Expansion Loop akan mengalami beban internal yang mempengaruhi tegangan pada pipa. Tegangan yang terjadi dari bentangan pipa akibat dari perubahan pola aliran. Analisa tegangan pada *expansion loop* menjadi bahan menarik untuk dilakukan penelitian. Karena banyaknya faktor yang mempengaruhi deformasi serta bentuk dari *expansion loop* yang beragam. Diperlukan analisa yang tepat untuk menentukan bentuk *expansion loop* yang sesuai dengan kondisi lapangan dan efisien dalam penggunaannya. Dalam tugas akhir ini akan diberikan beberapa variasi tipe *loop* seperti U, L, Z dengan beberapa variasi sudut.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Sistem Perpipaan

Semakin berkembangnya industri minyak dan gas sekarang ini, telah menghasilkan perkembangan substansi pada proyek *offshore* (pengeboran minyak lepas pantai). Dengan semakin berkembangnya dan majunya teknologi yang ada maka peralatan yang berkaitan dengan *Offshore* pun akan semakin canggih dan semakin modern. Perkembangan pipa *Offshore* pertama kali

berada di Gulf of Mexico. Sistem perpipaan telah banyak dirancang di seluruh dunia dengan berbagai macam desain yang beragam. Negara-negara yang mengikuti perkembangan di bidang *offshore* yaitu: Amerika Serikat, Laut Utara, Gulf of Mexico, Mediterania Australia, Asia dan Amerika Latin. Berbagai macam variasi peralatan yang telah dibuat dan telah dirancang yaitu peralatan yang digunakan untuk untuk proses pemasangan/instalasi maupun untuk pembuatan pipa itu sendiri. Dalam proses pemasangan pipa menggunakan metode tertentu antara lain: *Conventional Lay Barge Method*, *Reel Barge Method*, *Various Pull* dan *Tow Method* (Dhani, 2009).



Gambar 2.1 Sistem perpipaan bawah laut
(marinelink.com)

Soegiono (2007), Perancangan dari sistem perpipaan *offshore* ini juga tergantung pada kedalaman dari air laut. Pada saat kegiatan perancangan dan pemasangan pipa ini juga harus memperhatikan beberapa hal antara lain: terjadinya *Stress* dan *bending*, yang sering terjadi pada permukaan mesin yang tertanam pada dasar laut dan dipengaruhi oleh gelombang dan berbagai kondisi variasi dinamik. Setelah pipa ini dipasang dan diletakkan di dasar laut, akan mendapatkan beberapa resiko yang akan menimbulkan kerusakan akibat gelombang dan arus pada daerah tersebut.

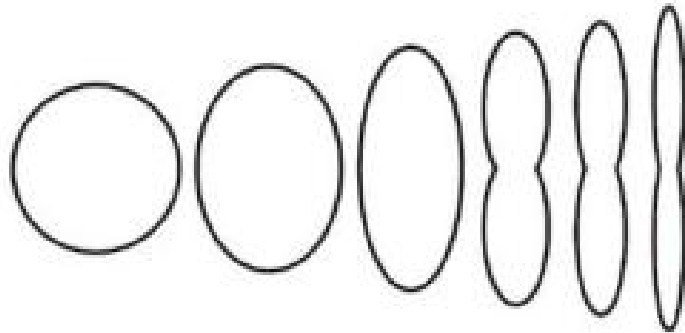
Dalam kegiatan pendesainan pipa yang juga harus diperhatikan adalah apabila pipa ini sudah terpasang dalam kedalaman air laut tertentu. Maka yang harus diperhatikan adalah terjadinya *buckling* (tekuk). Hal ini sangat penting karena

jika pipa *offshore* ini akan mengalami *buckling* maka jika tidak segera ditanggulangi maka pipa-pipa ini akan mempengaruhi kegiatan operasinya. Beberapa syarat dalam mengalirkan fluida pada sistem perpipaan seharusnya:

- Tidak boleh bocor
- Mengalirkan fluida perlu perbedaan tekanan antara titik awal dan akhir
- Harus di atasinya perlawanan/gesekan pipa pada fluida
- Kedua hal di atas memerlukan energi

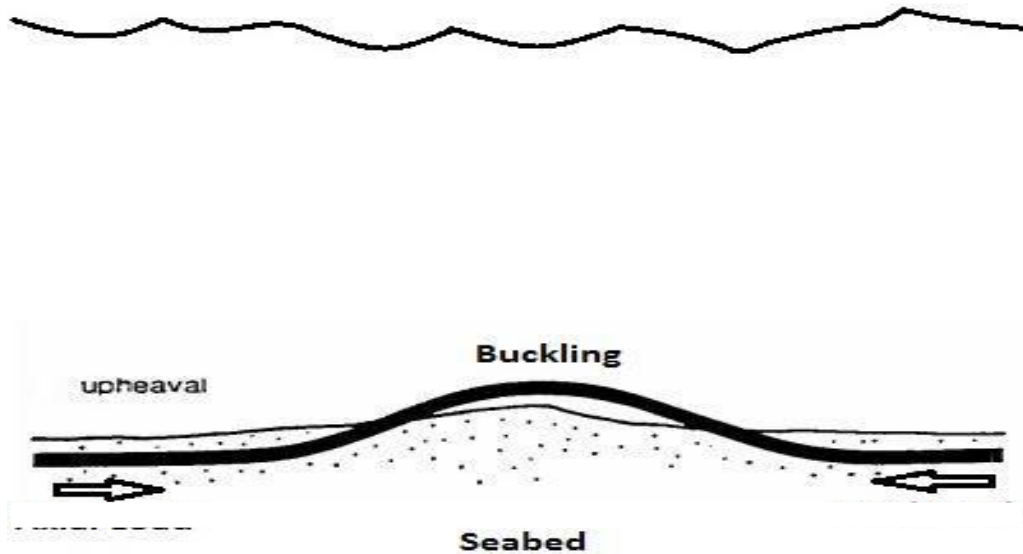
2.2.2 Buckling

Buckling pada pipa dapat diartikan sebagai ovalisasi pada penampang pipa yang terjadi pada salah satu atau seluruh bagian pipa. Menurut Abizar (2008), *Buckling* dapat berupa “*buckling* kering” dan “*buckling* basah”. Dikatakan kering jika pipa tidak retak dan disebut basah jika pipa terjadi retak lalu retakannya diisi oleh air.



Gambar 2.2 Proses ovalisasi akibat *local buckling* (Abizar, 2008)

Bentuk kegagalan yang diakibatkan oleh *buckling* adalah *upheaval buckling* dimana pipa menekuk ke arah vertical (sumbu-z) dan *lateral buckling* (*sneaking*) dimana pipa menekuk ke arah samping. Untuk lebih jelasnya digambarkan pada gambar berikut ini.



Gambar 2.3 Ilustrasi *upheaval buckling*

Berdasarkan beban kondisi *support* pipa, satu atau lebih dari 2 tipe *buckling* di bawah ini dapat terjadi, yaitu :

2.2.2.1. Local Buckling

Dikatakan *local buckling* apabila penampang melintang pipa mengalami deformasi diakibatkan oleh adanya tekanan eksternal, gaya aksial dan momen lentur. Analisis *local buckling* dilakukan untuk kondisi instalasi karena pada saat proses instalasi adalah kondisi paling kritis terjadinya *local buckling* akibat tidak adanya tekanan internal.

Berdasarkan *code standard* DNV 1981 *Rules for Submarine Pipeline Design*, Apendix B: *Buckling Calculations*, kombinasi tegangan kritis yang terjadi antara tegangan longitudinal dan tegangan hoop dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\left(\frac{\sigma_x}{\sigma_{xcr}} \right)^\alpha + \frac{\sigma_y}{\sigma_{ycr}} = 1 \quad (2.1)$$

$$\sigma_x = \sigma_x^N + \sigma_x^M \quad (2.2)$$

$$\sigma_x^N = \frac{N}{A} \quad (2.3)$$

$$\sigma_x^M = \frac{M}{W} \quad (2.4)$$

Dengan :

$N = \text{Axial force}$

$A = \text{Cross sectional area}$

$$= \pi (D-t)t$$

$M = \text{Bending moment}$

$W = \text{Elastic section modulus}$

$$= \frac{\pi}{4} (D - t)^2 \cdot t$$

$D = \text{Nominal outer diameter of pipe}$

$t = \text{Nominal wall thickness of pipe}$

$$\sigma_{xcr} = \frac{\sigma_x^N}{\sigma_x} \sigma_{xcr}^N + \frac{\sigma_x^M}{\sigma_x} \sigma_{xcr}^M \quad (2.5)$$

Dengan :

$\sigma_{xcr}^N = \text{Tegangan longitudinal maksimum saat hanya gaya } N \text{ yang bekerja,}$
(P dan M = 0)

$$\sigma_{xcr}^N = \text{SMYS} \quad \left(\text{untuk } \frac{D}{t} \leq 20 \right)$$

$$\sigma_{xcr}^N = \text{SMYS} \left[1 - 0,001 \left(\frac{D}{t} - 20 \right) \right] \quad \left(\text{untuk } 20 < \frac{D}{t} \leq 100 \right)$$

$\sigma_{xcr}^M = \text{Tegangan longitudinal maksimum saat hanya momen bending } M$
yang bekerja, (P dan N = 0)

$$\sigma_{xcr}^M = \text{SMYS} \left[1,35 - 0,0045 \frac{D}{t} \right]$$

$$P = P_e - P_t = \text{Eksternal} = \text{Overpressure}$$

$$\alpha = 1 + \frac{300}{D/t} \cdot \frac{\sigma_y}{\sigma_{ycr}}$$

$$\sigma_y = (P_e - P_t) \frac{D}{2t} ; (\text{Hoop stress})$$

$\sigma_{ycr} = \text{Tegangan hoop maksimum saat hanya tekanan } P \text{ yang bekerja, (M}$
dan N = 0)

$$\sigma_{ycr} = \sigma_{yE}$$

$$\begin{aligned}
&= E \left(\frac{t}{D-t} \right)^2 && \text{(untuk } \sigma_{yE} \leq \frac{2}{3} SMYS) \\
&= SMYS \left[1 - \frac{1}{3} \left(\frac{2SMYS}{3\sigma_{yE}} \right)^2 \right] && \text{(untuk } \sigma_{yE} > \frac{2}{3} SMYS)
\end{aligned}$$

σ_{yE} = *Critical comprehensive hoop stress* untuk *buckling* elastis sempurna
ketika hanya σ_y yang bekerja

E = Koefisien elastisitas bahan

= $3,01 \times 10^7$ untuk baja karbon

Kombinasi nilai σ_x dan σ_y yang diijinkan ditentukan dengan memasukkan faktor yang diijinkan ke dalam rumusan *local buckling* untuk kombinasi kritis. Sehingga persamaan *local buckling* menjadi sebagai berikut.

$$\left(\frac{\sigma_x}{\mu_{xp}\sigma_{xcr}} \right)^\alpha + \frac{\sigma_y}{\mu_{yp}\sigma_{ycr}} \leq 1 \quad (2.6)$$

Dengan :

μ_{xp} = Faktor desain ; nilai yang diijinkan dari $\left(\frac{\sigma_x}{\sigma_{xcr}} \right)$ untuk $\sigma_y = 0$

μ_{yp} = Faktor desain ; nilai yang diijinkan dari $\left(\frac{\sigma_y}{\sigma_{ycr}} \right)$ untuk $\sigma_x = 0$

Penggunaan faktor desain didasarkan pada tegangan kritis (berada pada *range* plastis dan elastis). Pada umumnya *buckling* pada pipa berdasarkan σ_x akan mendekati plastis, sementara *buckling* yang berdasarkan σ_y akan mendekati elastis. Besarnya faktor desain yang berlaku untuk pipa pada *riser* selama operasi tercantum dalam **Tabel 2.1** berikut ini.

Tabel 2.1. Faktor Desain (*General case*)

Loading Condition	$\frac{\sigma_E}{\sigma_F} \leq 1$	$1 < \frac{\sigma_E}{\sigma_F} \leq 3$	$\frac{\sigma_E}{\sigma_F} \geq 3$
a.	$\mu_p = 0,32$	$\mu_p = 0,48 + 0,04 \frac{\sigma_E}{\sigma_F}$	$\mu_p = 0,60$
b.	$\mu_p = 0,68$	$\mu_p = 0,62 + 0,06 \frac{\sigma_E}{\sigma_F}$	$\mu_p = 0,80$

Dengan :

σ_E = Tegangan kritis

σ_F = SMYS

$\sigma_{xE} = 0,42 \frac{E \cdot t}{D}$

$\sigma_{yE} = R \left(\frac{t}{D-t} \right)^2$

Untuk pipa selama masa operasi, faktor tersebut dikali dengan 1,2. Sedangkan untuk pipa dan *riser* selama instalasi, faktor tersebut dikali dengan 1,44. Sementara itu, untuk kondisi apapun nilai faktor desain tidak boleh melebihi 1,0.

Untuk pipa dengan rasio $\frac{D}{t}$ tipikal, faktor desain yang berlaku adalah faktor desain dalam **Tabel 2.2** berikut ini.

Tabel 2.2. Faktor Desain ($\frac{D}{t}$ tipikal)

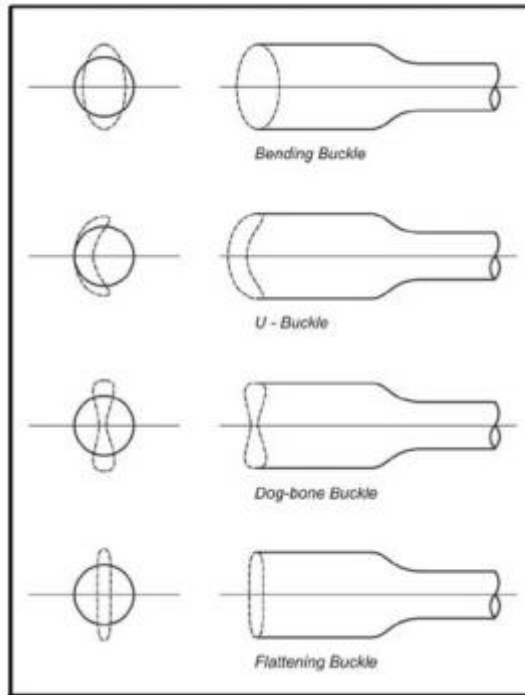
Loading Condition	Installation		Operation			
	Pipeline and risers		Pipeline zone 1		Pipeline zone 2 and risers	
	μ_{xp}	μ_{yp}	μ_{xp}	μ_{yp}	μ_{xp}	μ_{yp}
a.	0,86	0,75	0,72	0,62	0,50	0,43
b.	1,00	0,98	0,96	0,82	0,67	0,56

2.2.2.2 Propagation Buckling

Dikatakan *propagation buckling* apabila penampang melintang pipa berubah konfigurasinya dan merambat di sepanjang pipa, kegagalan ini diakibatkan oleh tekanan hidrostatik, hal ini disebabkan oleh tekanan eksternal (hidrostatik) yang lebih besar dari tekanan propagasi *buckle* pipa yang berperan sebagai penahan.

Prinsip dari *propagation buckling* adalah adanya tekanan yang menimbulkan *propagating buckle* (tekanan inisiasi *buckle*) yang nilainya lebih besar dari tekanan yang diperlukan untuk menahan terjadinya *propagating buckle* tersebut (tekanan *collapse*). Akibatnya, *buckle* yang terinisiasi pada *pipeline* berpropagasi (merambat) dan mengakibatkan kegagalan di sepanjang jalur pipa. *Propagating buckle* ini akan terus terjadi hingga tekanan eksternal pipa

telah menjadi sama atau lebih kecil dari tekanan propagasi. Hal ini berlaku untuk pipa yang mempunyai properti pipayang seragam di sepanjang jalur pipa. Namun, prinsip yang paling dasar adalah *propagation buckling* tidak ada *local buckling* yang terjadi. Pada **Gambar 2.4** berikut terdapat jenis-jenis *propagation buckling* yang umum terjadi.



Gambar 2.4 Jenis-jenis umum *propagation buckling* (Abizar, 2008)

Berbagai studi secara teoritis dan eksperimental telah dilakukan untuk mempelajari fenomena ini. Adapun tekanan *propagation* untuk pipa bawah laut dinyatakan dalam persamaan berikut.

$$P_{pr} = 1,15 \cdot \pi \cdot SMYS \left(\frac{t}{D-t} \right)^2 \quad (2.7)$$

$$P_{pr} > P_e$$

Dengan :

P_{pr} = Tekanan propagasi

P_e = Tekanan eksternal

Apabila tekanan propagasi nilainya lebih kecil daripada tekanan eksternal, maka perlu dilakukan pemilihan ulang terhadap ketebalan pipa. Ketebalan pipa minimum berdasarkan tekanan propagasi adalah sebagai berikut.

$$t = \frac{k.D}{1+k} \quad (2.8)$$

$$k = \sqrt{\frac{P_{pr}}{1,13\pi SMYS}} \quad (2.9)$$

Dengan :

t = ketebalan minimum pipa

D = diameter luar pipa

P_{pr} = tekanan propagasi

2.2.3 Konsep Umum *Expansion Loop*

Salah satu cara mencegah atau menanggulangi terjadinya *buckling* adalah dengan pemasangan *expansion loop*. *Loop* digunakan supaya defleksi yang ditahan oleh pipa dapat diserap. Fungsi dari loop ekspansi sendiri adalah untuk mengontrol *physical properties* dari material yang digunakan, misalnya *elongation (stress-strain)* yang terjadi pada pipa dan lebih disebabkan oleh ekspansi termal yang terjadi karena pengaruh eksternal (suhu tanah atau lingkungan) ataupun pengaruh internal (jenis fluida yang mengalir di dalamnya). Besarnya ekspansi dapat dihitung menggunakan persamaan :

$$\Delta L = C \times L \times (T_f - T_g) \times 12 \text{ in} \quad (2.10)$$

Dengan :

ΔL = Besar ekspansi (in)

C = Koef. Termal ekspansi

C (Steel) = 6.5×10^{-6} in/in°F

C (Copper) = 9.2×10^{-6} in/in°F

L = Jarak antar titik tumpu (ft)

T_f = Temperatur Fluida (°F)

T_g = Temperatur Tanah (°F)

Pipe expansion

Steel piping systems are subject to movement because of thermal expansion/contraction and mechanical forces. Piping systems subjected to temperature changes greater than 50°F or temperature changes greater than 75°F, where the distance between piping turns is greater than 12 times the pipe diameter, may require expansion loops. ANSI/ASME B31.3^[2] addresses the design requirements related to displacement strain because of thermal expansion, longitudinal sustained stresses, and computed displacement stress range.

Screening for expansion loops is not required by ANSI/ASME B31.3^[2] if the piping system duplicates an existing system and can be readily judged as adequate by comparison to other piping systems and $DY/(L-U) \leq 0.03$, where D is the nominal pipe size in inches, Y is the expansion to be absorbed by the piping in inches, L is the length of the pipe segment in feet, and U is the straight-line distance between anchors).

In the majority of oil and gas facility and pipeline applications, pipe expansion is not critical, as normal piping arrangements contain the numerous elbows and changes of direction. These make the piping system relatively flexible and allow the pipe to absorb the expansion; however, if the flowing temperatures are high or there is a significant variation in temperature, the normal piping configuration may not be adequate to handle the expansion and contraction of the piping systems. The design must be checked to verify that the piping configuration will absorb the expansion and, if not, that expansion loop will be incorporated as needed.

The calculation of both actual and allowable stresses in piping systems subject to movement and large temperature changes is complex and requires special expertise. There are a number of good computer programs that calculate stresses in piping systems and compare them to the stresses allowed by the specific piping code.

Gambar 2.5 Pipe Expansion ASME 31.3

Berdasarkan ASME B 31.3, sistem perpipaan terutama *pipeline* memerlukan *expansion loop* jika terjadi perubahan temperature lebih dari 75°F, dimana jarak antar belokan 12 kali diameter pipa. *Expansion Loop* tidak diperlukan jika telah memenuhi persamaan berikut ini.

$$\frac{DY}{(L - U)} \times 2 \leq 0.03 \quad (2.11)$$

Dengan :

D = Ukuran pipa nominal (in)

Y = Besar ekspansi yang diserap (in)

L = Panjang segmen pipa (feet)

U = Jarak lurus antar jangkar (feet)

Loop ekspansi memberikan tumpuan yang diperlukan oleh sistem perpipaan pada arah tegak lurus untuk menyerap ekspansi termal yang terjadi sehingga tercapai fleksibilitas pipa yang diinginkan. Dalam penerapannya dapat dipasang secara vertikal maupun horizontal tanpa mempengaruhi kinerja *loop* itu sendiri. Pola aliran pun juga tidak terpengaruh akibat posisi loop ekspansi karena pola aliran hanya dipengaruhi oleh *Reynold Number*.

Posisi loop ekspansi vertikal dan horizontal lebih mempertimbangkan faktor pemasangan dan ketersediaan tempat. Jadi jika area yang digunakan terbatas

maka cenderung menggunakan posisi loop vertikal, sedangkan untuk area yang luas seperti di *seabed* cenderung menggunakan posisi horizontal. Kedua posisi ini hanya akan memberikan perbedaan pada tambahan *head loss* untuk posisi vertikal karena adanya perbedaan ketinggian (h).

Dalam menentukan dimensi *expansion loop* terdapat beberapa pertimbangan antara lain besar ekspansi yang diinginkan, suhu fluida yang mengalir, suhu lingkungan (tanah), dan panjang pipa yang digunakan. Sehingga pipa memiliki panjang *loop* yang cukup agar mampu mengakomodasi *buckling* yang terjadi.

Pipa harus memiliki panjang loop yang cukup agar mampu mengakomodasi *buckling* yang terjadi. Menurut Antaki (2003) panjang loop yang dibutuhkan untuk menahan defleksi *upheaval buckling* adalah sebagai berikut :

$$l = \sqrt{\frac{3ED (y)}{2S}} \quad (2.12)$$

dengan :

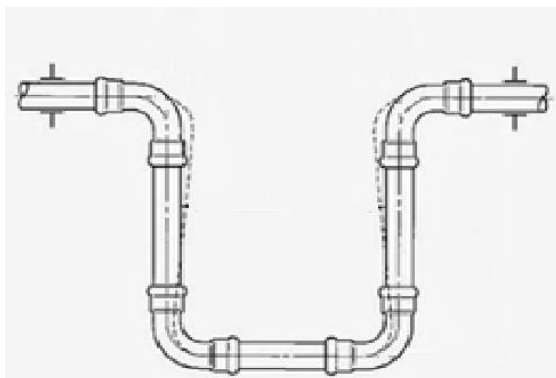
l = Panjang Loop (in)

E = Modulus Elastisitas (Psi)

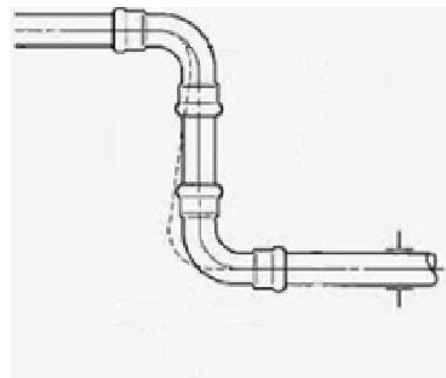
D = Diameter eksternal pipa (in)

y = Ekspansi termal yang harus ditahan pipa (in)

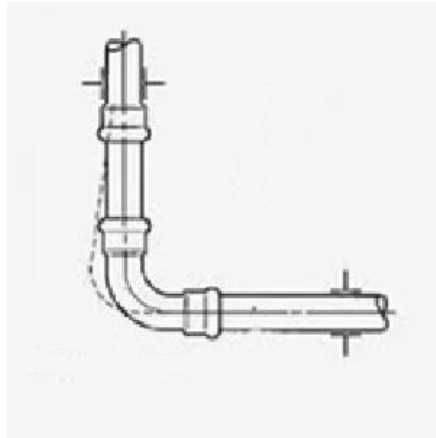
S = Specified Minimum Yield Stress (Psi)



Gambar 2.6 Desain ekspansi loop tipe U (Antaki,2003)

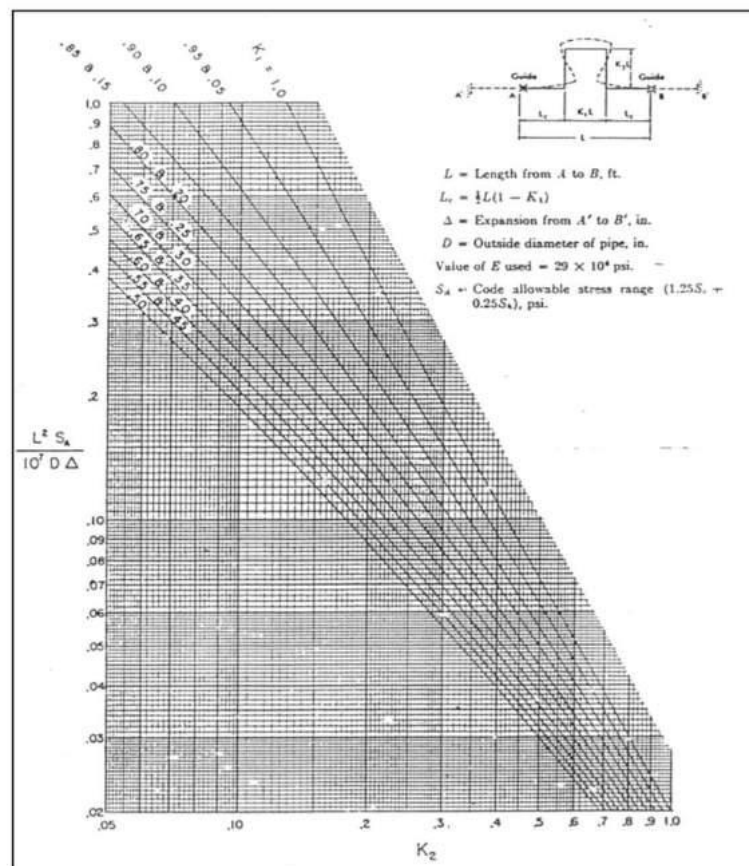


Gambar 2.7 Desain ekspansi loop tipe Z (Antaki,2003)

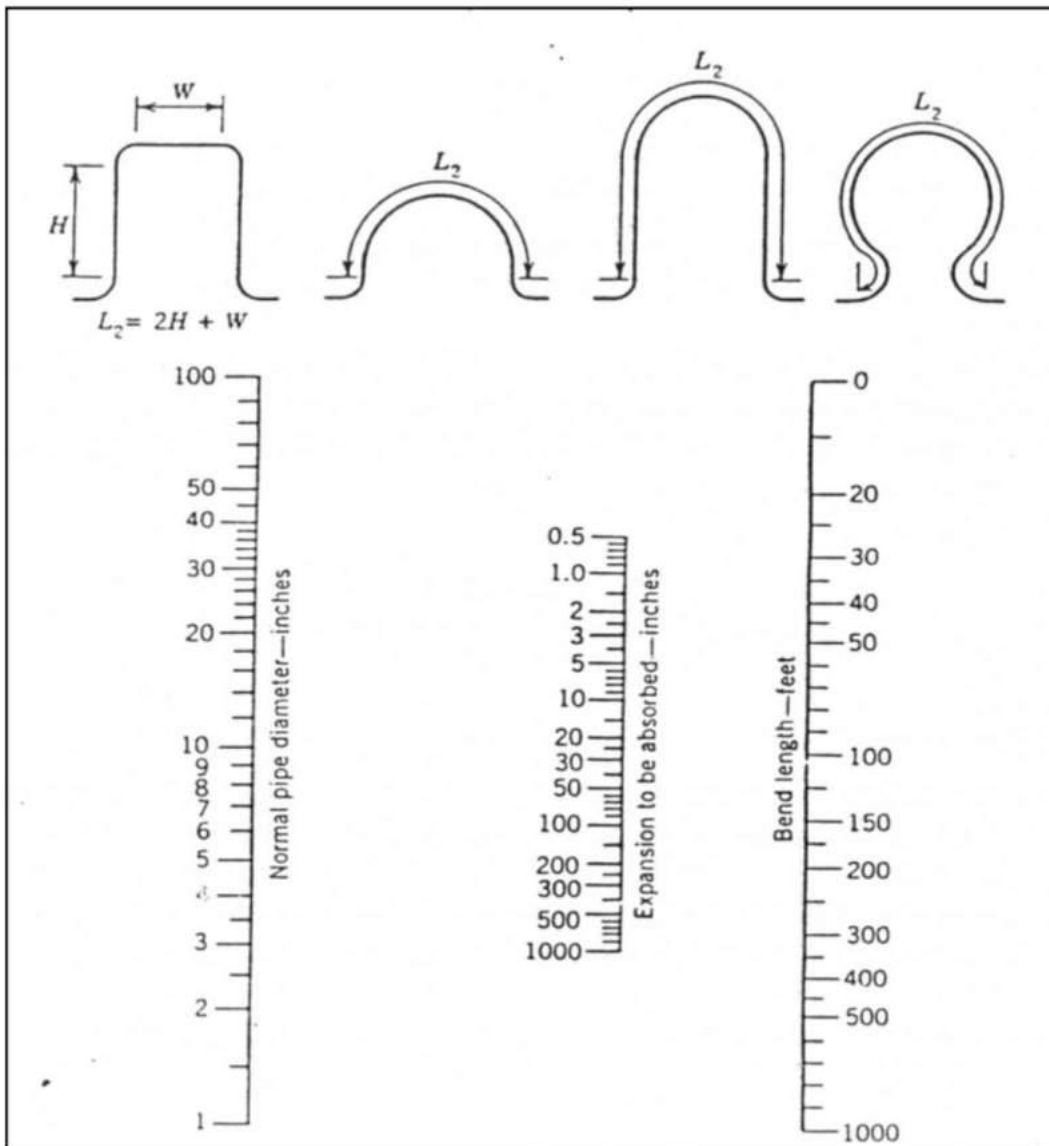


Gambar 2.8 Desain ekspansion loop tipe L/elbow
(Antaki,2003)

Penggunaan diagram pada **Gambar 2.9** lebih disarankan untuk pendesainan *expansion loop* pada awal tahap perencanaan. Akan tetapi, apabila telah diketahui berapa besarnya ekspansi yang akan diakomodasi, *expansion loop* dapat dihitung dengan menggunakan diagram pada **Gambar 2.10**.



Gambar 2.9 Desain *expansion loop* menggunakan Diagram M. W. Kellogg



Gambar 2.10 Nomograf untuk menentukan ukuran *expansion loop*
(M.W. Kellogg Company)

2.2.4 Aliran Fluida dalam Pipa

Menurut Kodoatie (2002), keadaan yang diasumsikan ketika pipa terisi penuh oleh fluida yang sedang dipindahkan maka gaya penggerak utamanya adalah gradien tekanan sepanjang pipa tersebut. Hal tersebut yang menyebabkan fluida dalam aliran dapat mengalir dalam pipa, perubahan tekanan tersebut dapat terjadi akibat adanya perubahan ketinggian, perubahan kecepatan akibat perubahan luas penampang dan gesekan yang terjadi antara fluida dengan dinding pipa.

Pada aliran *inviscid*, persamaan Bernoulli dapat menganalisa perubahan tekanan yang terjadi terhadap perubahan ketinggian dan kecepatan. Kehilangan tekanan (*head loss*) berdasarkan lokasi timbulnya dibedakan menjadi dua yaitu :

- a). Kerugian Mayor, yakni kehilangan tekanan akibat gesekan aliran fluida pada sistem aliran penampang tetap atau konstan.
- b). Kerugian Minor, yakni kehilangan tekanan akibat gesekan pada katup, sambungan, dan pada penampang aliran yang tidak konstan.

Perubahan geometri pipa seperti adanya *elbow* atau *bend* akan memunculkan aliran sekunder fluida dalam pipa sehingga dapat mengakibatkan adanya *head loss*. Semakin halus kelengkungan kurva belokan maka semakin kecil juga koefisien *loss*-nya namun dalam segi biaya pembuatan akan lebih mahal dan susah daripada belokan yang kelengkungannya dibentuk dari penyambungan pipa lurus.

2.2.5 Bilangan Reynold

Dalam mekanika fluida, bilangan Reynold adalah rasio antara gaya inersia terhadap gaya viskos yang mengkuantifitaskan hubungan kedua gaya tersebut dengan suatu kondisi aliran tertentu atau dapat dituliskan sebagai berikut :

$$Re = (\rho \ v \ D)/\mu \quad (2.13)$$

Dengan :

V = Kecepatan aliran (m/dt)

D = Diameter pipa (m)

ρ = massa jenis (kg/m³)

μ = viskositas dinamik (N.s/m³)

Bilangan ini digunakan untuk mengidentitaskan jenis aliran yang berbeda misalnya laminar, turbulen, atau transisi. Penamaan bilangan ini diambil dari Osborne Reynolds (1842-1912) yang mengusulkan pada tahun 1883.

Besarnya bilangan Reynold yang terjadi pada suatu aliran dalam pipa dapat menunjukkan apakah profil aliran tersebut laminar, turbulen, atau transisi. Jika nilai Re kecil maka aliran akan meluncur di atas lapisan lain yang dikenal sebagai aliran laminar. Sedangkan jika aliran-aliran tersebut tidak memiliki garis edar tertentu yang dapat dilihat maka tergolong ke dalam jenis aliran turbulen. Biasanya angka $Re < 2300$ merupakan batas aliran laminar dan angka lebih besar dari $Re > 4000$ dikatakan aliran turbulen. Sedangkan Re diantara keduanya dinyatakan sebagai aliran transisi. Untuk saluran tertutup bilangan Reynold dinyatakan sebagai berikut :

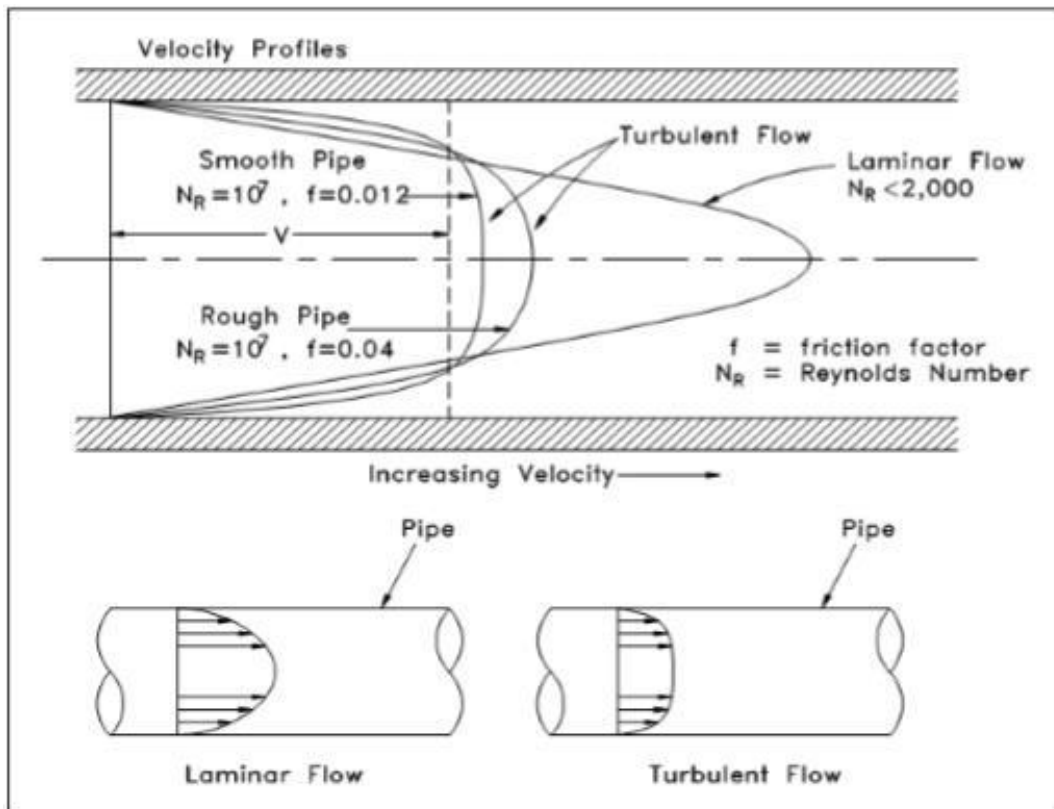
$$Re = \frac{d \cdot V}{\nu} \quad (2.14)$$

Dengan :

d = Diameter dalam pipa

V = Kecepatan fluida

ν = viskositas kinematik



Gambar 2.11 Aliran Laminar dan Aliran Turbulen (DOE, 1996)

2.2.6 Teori Tegangan

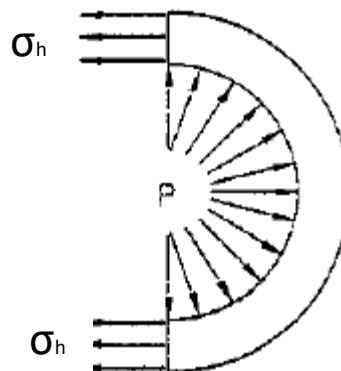
Selama proses operasinya, beban yang bekerja pada pipa akan mengakibatkan timbulnya tegangan dinding pipa. Kombinasi-kombinasi tegangan tersebut akan menyebabkan regangan atau defleksi. Besarnya tegangan akibat beban operasi tekanan internal fluida yang dialirkan di dalam pipa dapat diturunkan dari persamaan mekanika untuk bejana berdinding tipis (Popov, 1978). Oleh karena itu analisa tegangan perlu dilakukan untuk mengetahui tegangan-tegangan yang bekerja pada sistem perpipaan, nilai dari *pipe stress analysis* akan dicocokkan dengan aturan-aturan yang ada dalam *codes* ASME B31.8 2003 terutama untuk tegangan ijin masing-masing kondisi sebagaimana dijelaskan pada tabel di bawah ini.

Tabel 2.3. Tegangan ijin masing-masing kondisi

Design Condition	Allowable		
	Hoop stress	Longitudinal stress	Combined stress
Operating	72% SMYS	80% SMYS	90% SMYS
Hydrotesting	90% SMYS	-	96% SMYS
Installation	72% SMYS	80% SMYS	90% SMYS

2.2.7 Tegangan Hoop

Tegangan Hoop adalah tegangan yang bekerja pada pipa dalam arah tangensial. Tegangan ini mempengaruhi tekanan internal yang besarnya tergantung pada variasi tebal dinding pipa. Berikut ini perhitungan besarnya tegangan *hoop* berdasarkan *code* standar ASME B31.8 2003 :



Gambar 2.12 Arah hoop stress terhadap potongan melintang pipa

(ASME B31.8, 2003)

$$\sigma_h = P_i \left(\frac{D}{2t} \right) \quad (2.14)$$

dengan :

σ_h = Hoop stress (Psi)

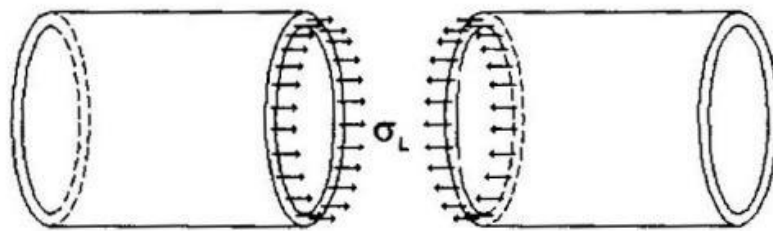
P_i = Disain tekanan internal (Psi)

D = Diameter luar pipa (in)

t = Ketebalan pipa (in)

2.2.8 Tegangan Longitudinal

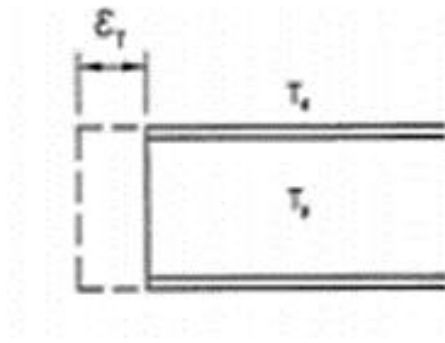
Pipa yang berada dalam kondisi *restrain* (tertahan) akan menyebabkan terjadinya *upheaval buckling*. Tegangan Longitudinal timbul sebagai kombinasi antara dua komponen yang mempengaruhinya yaitu tegangan kompresif akibat ekspansi termal dan tegangan tensile. Longitudinal stress merupakan tegangan aksial yang bekerja pada penampang pipa merupakan kombinasi dari *Thermal Stress* dan *Poisson's Effect*.



Gambar 2.13 Longitudinal stress pada cross section pipa

(ASME B31.8, 2003)

Beda temperatur saat instalasi menyebabkan terjadinya ekspansi termal kearah longitudinal, namun karena *pipeline* berada pada kondisi *restrain* maka pipa tidak mengalami ekspansi sehingga timbul tegangan termal.



Gambar 2.14 Ilustrasi *thermal stress*

(ASME B31.8, 2003)

Besarnya tegangan termal dapat dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$\sigma_T = -E\alpha(T_2 - T_1) \quad (2.15)$$

dengan:

E = *Modulus Young* (Psi) = $2,07 \times 10^5$ (MPa)

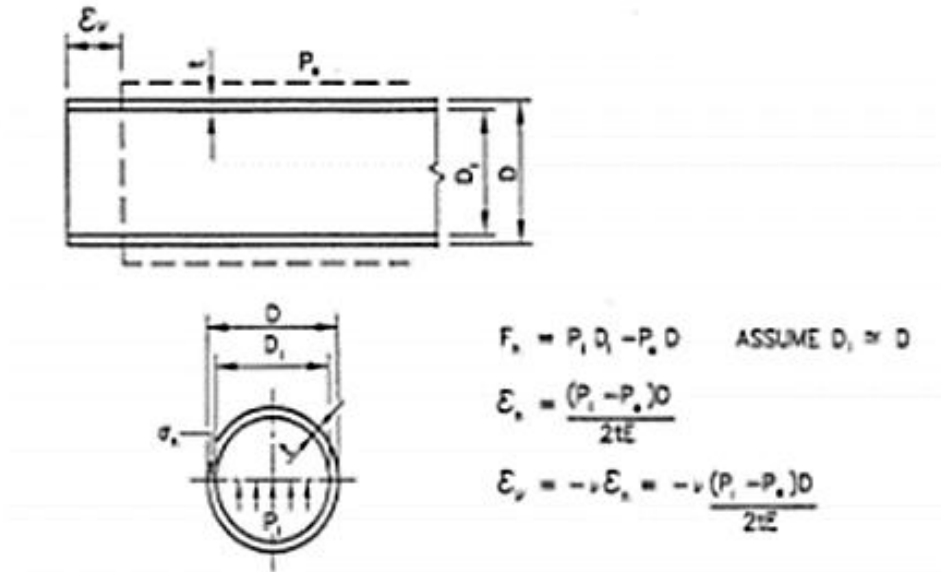
σ_T = Tegangan akibat termal (Psi)

α = Koefisien ekspansi termal = 11.7×10^{-6} ($^{\circ}\text{F}^{-1}$)

T_2 = Temperatur operasi maksimum ($^{\circ}\text{F}$)

T_1 = Temperatur instalasi ($^{\circ}\text{F}$)

Poisson's effect merupakan tegangan yang terjadi akibat adanya tegangan residual pada saat fabrikasi pipa, sehingga pipa harus kembali ke keadaan semula. Kembalinya pipa ke keadaan menyebabkan terjadinya gaya aksial yang menyebabkan kontraksi pada dinding pipa.



Gambar 2.15 Ilustrasi *poisson's effect*
(ASME B31.8, 2003)

Persamaan *Poisson's effect* adalah sebagai berikut.

$$\sigma_p = \nu \cdot \left(\frac{P_i(D - 2t) - P_e \cdot D}{2t} \right) \quad (2.16)$$

Sedangkan besarnya tegangan tarik longitudinal pada pipa *restrain* akibat pengaruh poisson dari tegangan *hoop* dapat dihitung berdasarkan *code* standar ASME B31.8 2003 :

$$\sigma_p = \nu \cdot \sigma_h \quad (2.17)$$

dengan :

σ_p = Tegangan tarik longitudinal (Psi)

σ_h = Tegangan *hoop* (Psi)

ν = Poisson ratio = 0.3

Sehingga melalui kombinasi komponen tegangan termal dan tegangan pengaruh Poisson didapatkan besarnya tegangan longitudinal yang terjadi pada pipa kondisi *restrain* sesuai persamaan :

$$\sigma_l = \nu \cdot \sigma_h - E\alpha(T_2 - T_1) \quad (2.18)$$

2.2.9 Tegangan Kombinasi Ekivalen (Von Mises)

Arah tegangan yang berbeda-beda pada pipa dapat dipandang secara menyeluruh menggunakan hubungan Von Mises. Besarnya tegangan ekivalen Von Mises diperoleh berdasarkan persamaan berikut (ASME B31. 8, 2003) :

$$\sigma_E = \sqrt{\sigma_h^2 + \sigma_L^2 - (\sigma_h \sigma_L) + 3\tau^2} \quad (2.19)$$

dengan :

σ_E = Tegangan ekivalen Von Mises (MPa)

σ_h = Tegangan *hoop* (MPa)

σ_L = Tegangan longitudinal (MPa)

τ = Tegangan geser (MPa)

Tegangan tangensial biasanya relatif kecil dibandingkan dengan tegangan-tegangan yang lainnya sehingga dapat diabaikan dalam analisis yang selanjutnya, maka dari itu persamaan dapat direduksi menjadi :

$$\sigma_E = \sqrt{\sigma_h^2 - (\sigma_h \sigma_L) + \sigma_L^2} \quad (2.20)$$

Tegangan ekivalen pada pipa saat beroperasi harus memenuhi kriteria regangan ekivalen yang diijinkan menurut *code* ASME B31.8 sebagai berikut:

$$\sigma_E = \sqrt{\sigma_h^2 - (\sigma_h \sigma_L) + \sigma_L^2} < 90\% SMYS \quad (2.21)$$

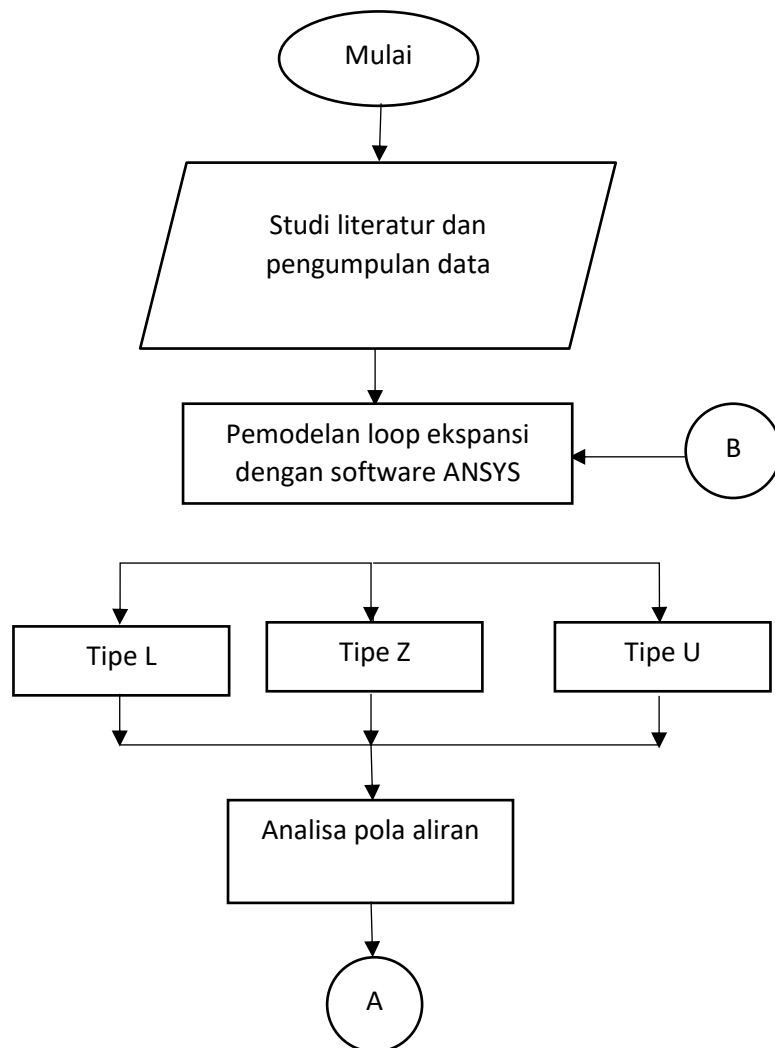
(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB III

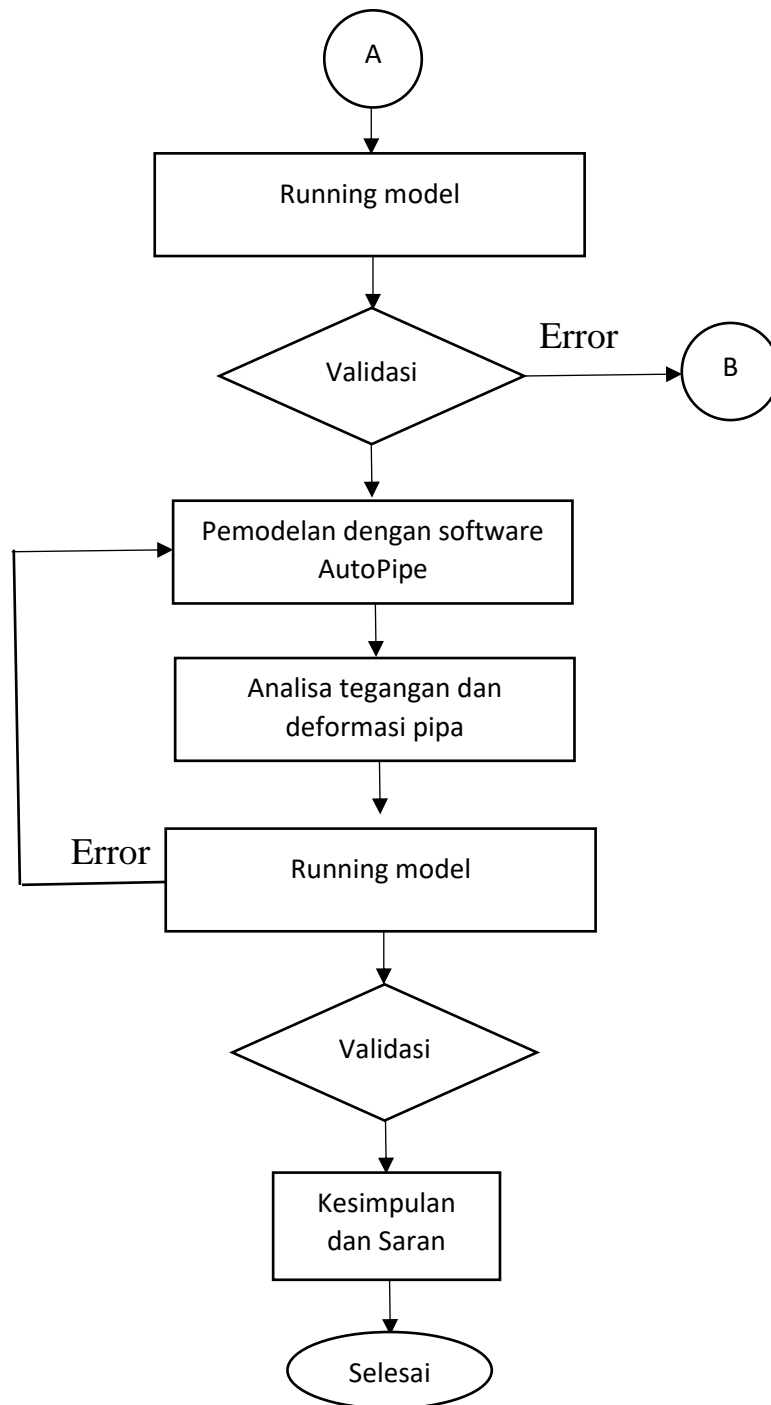
METODE PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Untuk menjelaskan metode yang digunakan dalam penelitian tugas akhir ini maka dibuatlah diagram alir. Adapun diagram alir tersebut adalah sebagai berikut:



Gambar 3.1 Diagram alir



Gambar 3.1 Diagram alir (Lanjutan)

3.2 Prosedur Penelitian

Langkah-langkah dalam melakukan penelitian tugas akhir ini tertera dalam diagram alir **Gambar 3.1** dan dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Studi literatur dan Software

Beberapa literatur yang dapat menunjang penelitian ini diantaranya adalah tugas akhir, jurnal, majalah, media elektronik, maupun bukti sangat diperlukan sebagai referensi pengerjaan penelitian ini. Literatur yang berhubungan dengan *buckling* pipa dan *expansion loop* terutama penelitian yang telah dilakukan sebelumnya akan menjadi bahan referensi utama. Selain itu data-data yang berkaitan dengan penelitian ini seperti data pipa dan data lingkungan juga sangat penting. Mempelajari *software* ANSYS Multiphysics dan AutoPipe juga sangat diperlukan untuk kegunaan analisa dalam pemodelan.

2. Pengumpulan data

Data-data yang diperlukan antara lain:

a. Data pipa.

Tabel 3.1. Data Pipa Diameter 14"

Diameter	14" (355.6 mm)	
Wall Thickness	0.6899" (17.5 mm)	
Kelas	Export/Trunklines	
Material	Carbon steel API-GR-65-PSL2	
SMYS	65300 psi	
Temperatur (°C)	Desain :116	Operasi:70
Tekanan (bar)	Desain :70	Operasi:40

b. Data Fluida

Tabel 3.2. Data Fluida

Fluid Type	Gas
Flow Rate	2.79 Mmscfd
Specific Gravity	0.59
Mass Density	0,6679 kg/ m ³
Molecular Weight	16.043
Viskositas	1,087 x 10 ⁻⁵ kg/ms
Temperatur (°C)	15.6 < C < 48.9
Densitas Air Laut	1026 kg/m ³

3. Perancangan *Expansion Loop*.

Tahap awal pemodelan ini adalah menghitung dimensi *loop* sesuai *thermacor data* sehingga didapatkan hasil geometri maupun dimensi yang diperlukan sebelum melakukan pemodelan pipa menggunakan *software* ANSYS Multiphysics maupun AutoPipe.

4. Pemodelan loop ekspansi dengan Software.

Setelah didapatkan panjang dan pemilihan bentuk loop ekspansi yang akan dimodelkan dengan menganalisa kemungkinan terjadinya *overstress* pada loop pipa maka loop ekspansi dapat dimodelkan dengan menggunakan *software* ANSYS Multiphysics dan AutoPipe. Dalam melakukan pemodelan diperlukan langkah-langkah seperti berikut ini:

i). Pemodelan pipa

Sistem perpipaan dapat dimodelkan menggunakan *software* ANSYS Multiphysics yang merupakan program *Finit Element Analysis* (FEA) yang dapat digunakan untuk mengetahui pola dan kecepatan aliran dalam sistem perpipaan, sedangkan untuk nilai *deflection* dan tegangan didapatkan dari pemodelan sistem perpipaan menggunakan *software* AutoPipe. Berikut ini hal-hal yang dibutuhkan dalam memodelkan *pipeline* menggunakan *software* :

- Masukkan data
 - a) Dimensi dan jenis material
 - b) Temperatur fluida
 - c) Tekanan fluida
- Pemodelan *node*, elemen, tumpuan

ii). Aturan penentuan *node* :

- a) Geometri (titik awal, interaksi, perubahan arah, dan titik akhir)
- b) Perubahan parameter operasi
- c) Parameter kekakuan elemen (perubahan ukuran pipa, *expansion joint*, penambahan lengan)
- d) Posisi kekakuan batas (*restrain*, syarat batas sendi)

iii). Data variasi *expansion loop*

Beberapa variasi dalam pemodelan ini adalah sebagai berikut.

Tabel 3.3 Variasi *Expansion Loop*

Tipe	Sudut	Lengan
L	90°	-
	45°	2 m
		4 m
		6 m
U	90°	-
	45°	0.5 m
		1.0 m
		1.5 m
Z	90°	-
	45°	0.5 m
		1.0 m
		1.5 m

5. Running model

Memulai dengan merunning desain struktur pipa yang telah dibuat dengan menganalisa material pada pipa dan beban yang telah dibuat. Apabila terdapat *errors* pada hasil running program maka pemodelan ini harus diperbaiki oleh pengguna dimana pemodelan harus ditinjau ulang.

6. Analisa loop ekspansi

Analisa ini dilakukan untuk mencari pola aliran, kecepatan yang terjadi di dalam pipa serta pengaruh *loop* terhadap tegangan dan defleksi pipa.

7. Penyusunan buku tugas akhir

Tahapan akhir dalam pengerjaan tugas akhir ini adalah pembuatan buku tugas akhir, semua hasil yang telah diperoleh dari tahapan sebelumnya akan didokumentasikan sesuai dengan standar penulisan buku tugas akhir yang telah ditetapkan.

3.3 Jadwal Aktivitas

Aktivitas pengerjaan penelitian tugas akhir digambarkan dalam time table.

Tabel 3 merupakan jadwal aktivitas pada penelitian tugas akhir ini.

Tabel 3.4 Jadwal aktivitas

NO	AKTIVITAS	BULAN															
		SEP				OKT				NOP				DES			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Studi literatur dan Pengumpulan data																
2	Perancangan expansion loop																
3	Pemodelan loop ekspansi																
4	Analisa pola aliran																
5	Analisa tegangan																
6	Penyusunan buku tugas akhir																

BAB IV

HASIL ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 Perhitungan Manual dan Syarat ASME B31.3

4.1.1 Perhitungan Besar Ekspansi

Besarnya ekspansi yang terjadi dalam sistem perpipaan dapat dihitung menggunakan persamaan (2.9).

$$\begin{aligned}\Delta L &= C \times L \times (T_f - T_g) \times 12 \text{ in} \\ \Delta L &= 6,5 \times 10^{-6} \times 71,81 \times (120 - 50) \times 12 \text{ in} \\ \Delta L &= 0,392 \text{ in}\end{aligned}$$

4.1.2 Koreksi ASME B 31.3

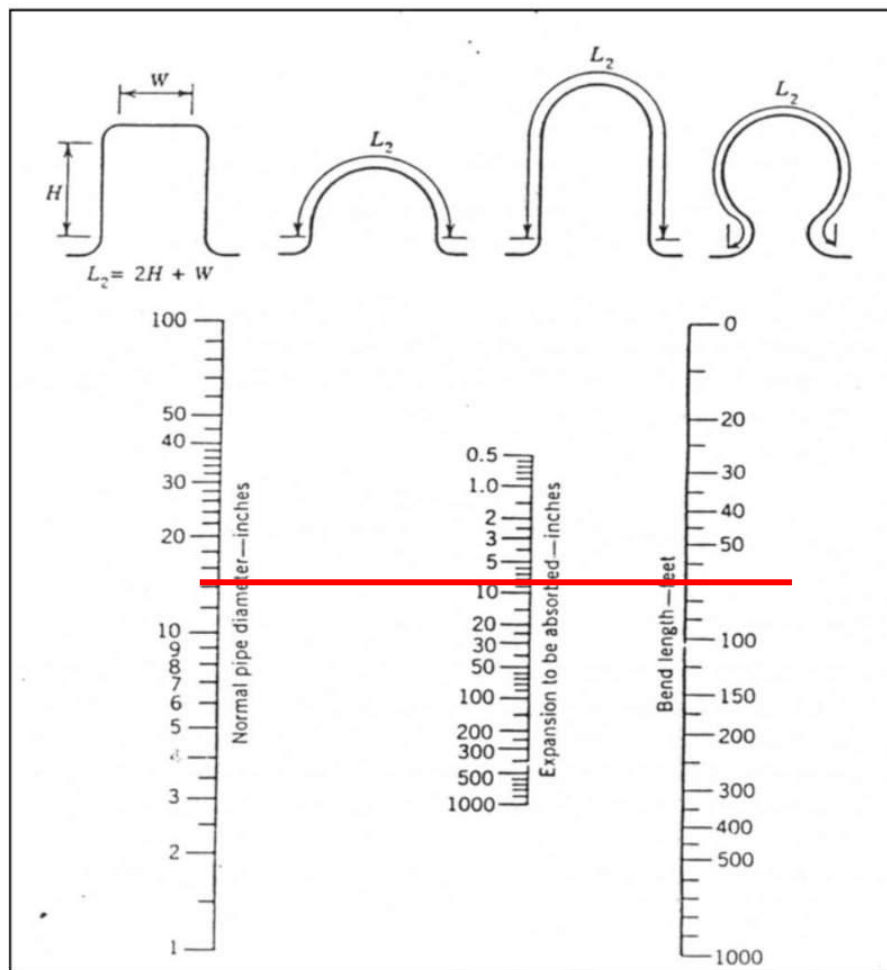
Berdasarkan standard ASME B31.3 didapatkan hasil perhitungan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}DY/(U-L) &\leq 0,03 \\ 14 \times 0,392 / (250,133 - 39,370) &\leq 0,03 \\ 0,052 &\leq 0,03\end{aligned}$$

Dikarenakan tidak memenuhi syarat ekspansi berdasar ASME B31.3 maka diperlukan adanya *expansion loop* untuk menerima besarnya ekspansi yang terjadi.

4.1.3 Pemilihan Dimensi *Loop*

Berdasarkan nomograf M.W.Kellog didapatkan panjang *loop* sebagai berikut.



Gambar 4.1 Hasil penentuan ukuran *expansion loop* berdasarkan
Nomograf M.W.Kellog

$$L = 70 \text{ feet} = 21,33 \text{ m}$$

PIPE SIZE (IN)	ΔL (IN)	LOOP SIZE (FT)		PIPE SIZE (IN)	ΔL (IN)	LOOP SIZE (FT)	
		H	W			H	W
3/4	0.00 - 1.50	4	2	10	0.00 - 0.42	4	2
	1.50 - 6.00	6	3		0.42 - 0.91	6	3
1	0.00 - 1.00	4	2		0.91 - 1.44	8	4
	1.00 - 4.14	6	3		1.44 - 2.00	10	5
1-1/4	0.00 - 0.93	4	2		2.00 - 2.57	12	6
	0.93 - 3.33	6	3		2.57 - 3.16	14	7
	3.33 - 5.56	8	4		3.16 - 3.80	16	8
					3.80 - 4.14	18	9
1-1/2	0.00 - 0.88	4	2	12	0.00 - 0.14	4	2
	0.88 - 2.75	6	3	&	0.14 - 0.38	6	3
	2.75 - 4.75	8	4	14	0.38 - 1.14	8	4
2	0.00 - 0.85	4	2		1.14 - 1.88	10	5
	0.85 - 2.38	6	3		1.88 - 2.43	12	6
	2.38 - 4.00	8	4		2.43 - 3.00	14	7
2-1/2	0.00 - 0.78	4	2		3.00 - 3.57	16	8
	0.78 - 2.14	6	3		3.57 - 4.14	18	9
	2.14 - 3.71	8	4	16	0.00 - 0.41	4	2
	3.71 - 5.31	10	5		0.41 - 0.85	6	3
3	0.00 - 0.72	4	2		0.85 - 1.32	8	4
	0.72 - 1.78	6	3		1.32 - 1.83	10	5
	1.78 - 3.00	8	4		1.83 - 2.34	12	6
	3.00 - 4.35	10	5		2.34 - 2.86	14	7
3-1/2	0.00 - 0.68	4	2		2.86 - 3.43	16	8
	0.68 - 1.35	6	3		3.43 - 4.00	18	9

Gambar 4.2 Penentuan dimensi *loop* berdasarkan ThermacorData

Dengan perbandingan H : W = 2 : 1 sesuai dengan Thermacor Data untuk dimensi *expansion loop* maka pada kasus ini digunakan ukuran *loop* 8 x 4 m.

4.1.4 Perhitungan Kecepatan Aliran Inlet

Berdasarkan data yang telah didapat, *Flowrate* aliran sebesar 2,79 MMscfd yang setara dengan 0,9207 m³/s. Besarnya kecepatan aliran didapatkan dengan cara membagi debit aliran dengan luas inlet, sehingga didapat kecepatan aliran di inlet sebesar 9,275 m/s.

4.1.5 Analisa Pola Aliran Manual

Sebelum memulai pemodelan pada komputer, harus mengetahui jenis aliran fluidanya bersifat laminar atau turbulen. Jenis aliran dapat ditentukan dengan berdasarkan nilai Reynold Numbernya. Dengan menggunakan persamaan (2.13) sehingga didapat :

$$Re = \frac{d \cdot V}{\nu}$$

$$Re = \frac{0,3556 \times 9,275}{1,087 \times 10^{-5}}$$

$$Re = 2,02 \times 10^5$$

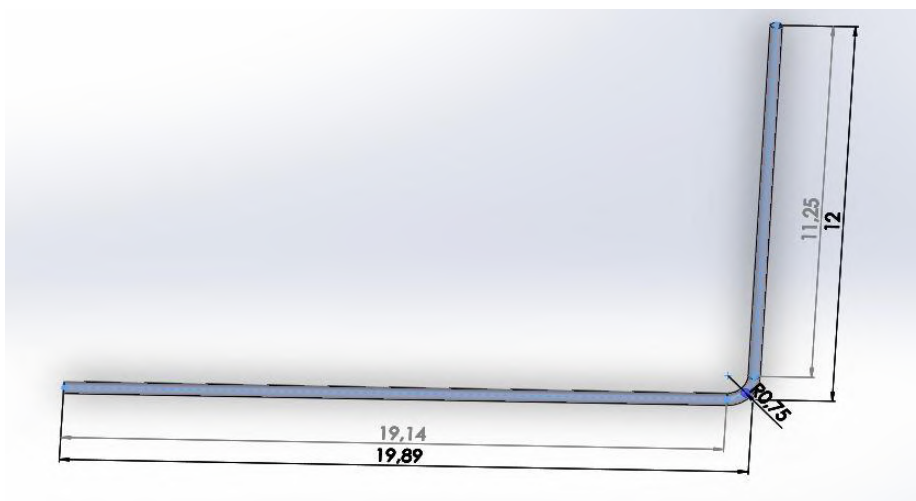
Hasil perhitungan tersebut menunjukkan bahwa pola aliran yang terbentuk dalam pipa bersifat turbulen karena $Re > 4000$. Aliran tersebut dipengaruhi besarnya diameter, kecepatan dan viskositas kinematik. Dimana besarnya viskositas kinematik didapat dari perbandingan antara viskositas dinamik dengan massa jenis dari fluida. Sehingga dalam pemodelan digunakan Analisa turbulen untuk jenis aliran fluidanya.

4.2 Pemodelan *Expansion Loop* dengan Komputer.

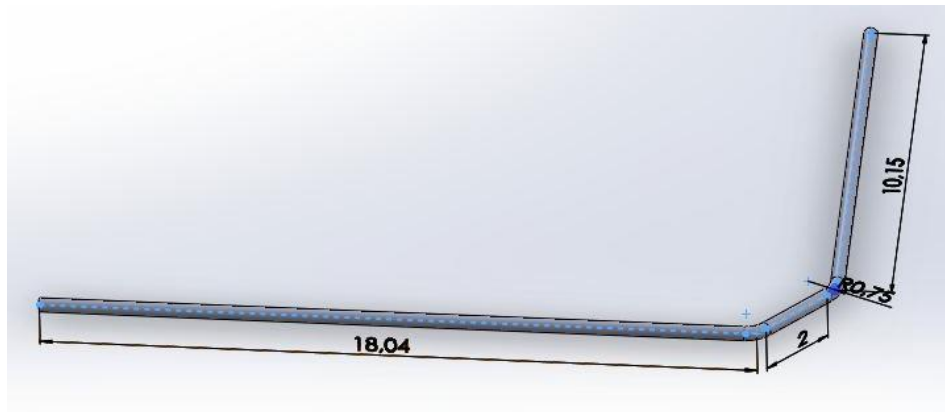
Pemodelan dengan Solid Work dan ANSYS Multiphysics berdasarkan bentuk fluida yang terjadi akibat adanya belokan/*elbow* dan struktur pipa dengan adanya *elbow*. Pipa yang dimodelkan diberi tumpuan di titik titik tertentu. Hal ini perlu dilakukan supaya dapat mengetahui arah ekspansi yang diinginkan sesuai dengan desain yang telah dibuat.

4.2.1 Pemodelan Pipa Menggunakan *Software SolidWork*.

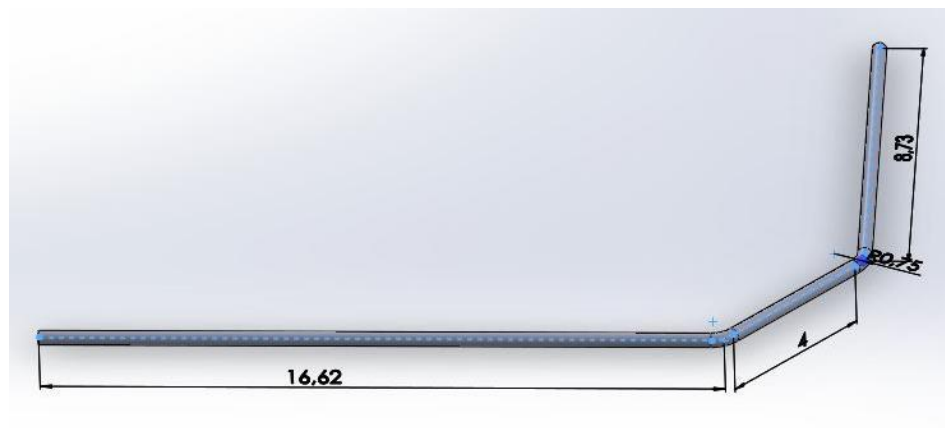
Berikut ini adalah beberapa model *expansion loop* pada pipa dengan beberapa variasi *elbow* dengan panjang lengan antar elbow yang beragam.



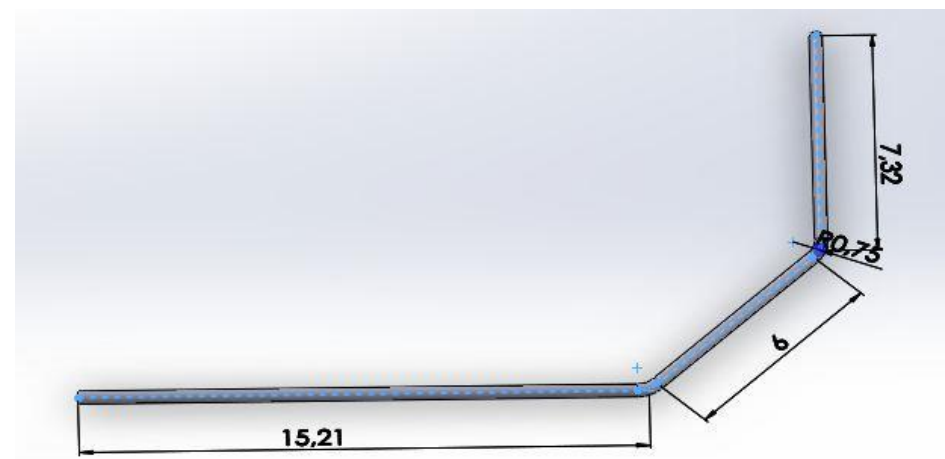
Gambar 4.3 *Expansion Loop* Tipe L 90°



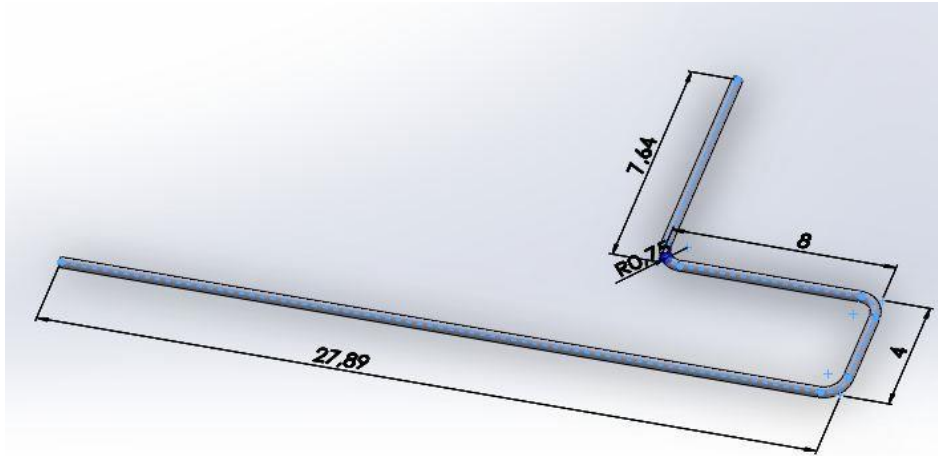
Gambar 4.4 *Expansion Loop Tipe L 45° 2,0 m*



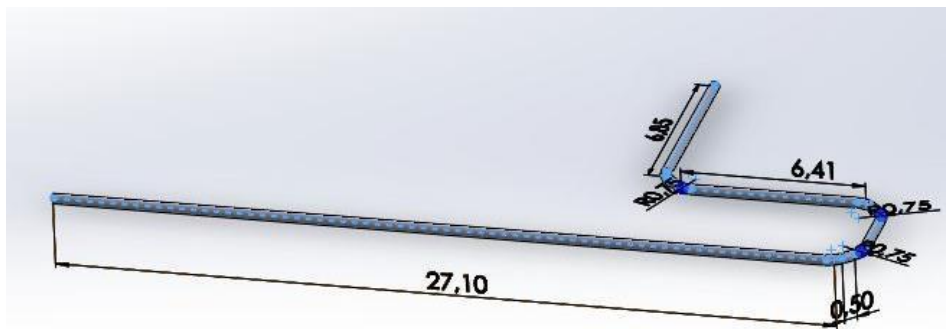
Gambar 4.5 *Expansion Loop Tipe L 45° 4,0 m*



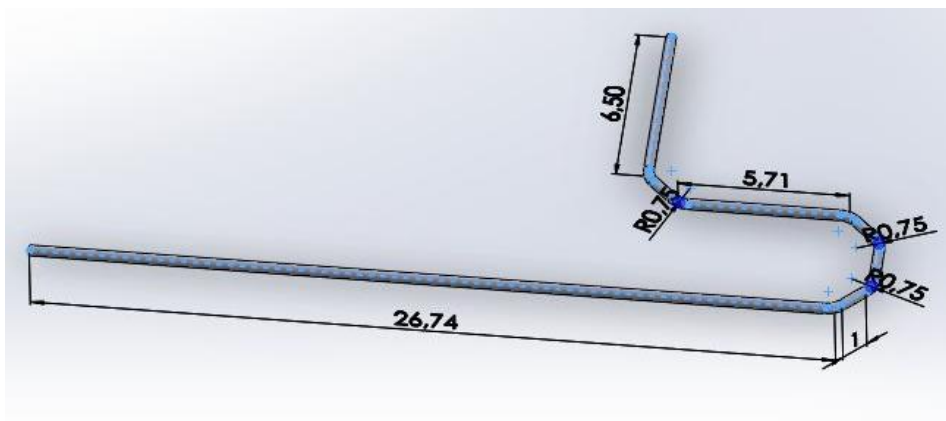
Gambar 4.6 *Expansion Loop Tipe L 45° 6,0 m*



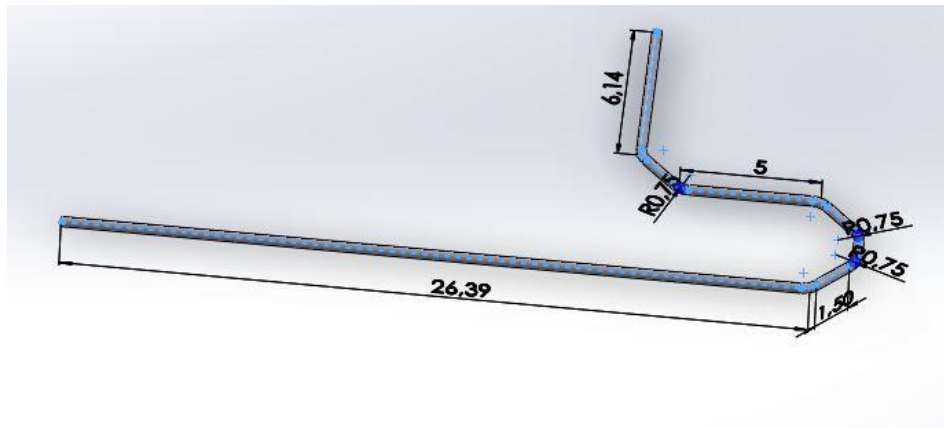
Gambar 4.7 *Expansion Loop Tipe U 90°*



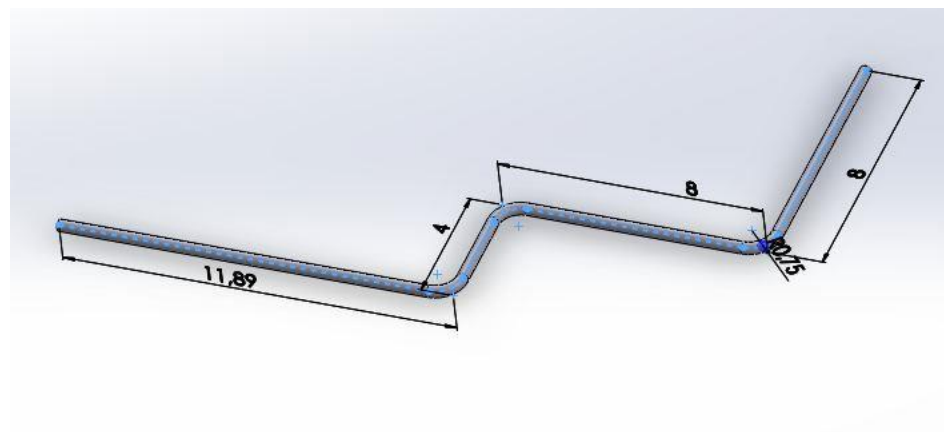
Gambar 4.8 *Expansion Loop Tipe U 45° 0,5 m*



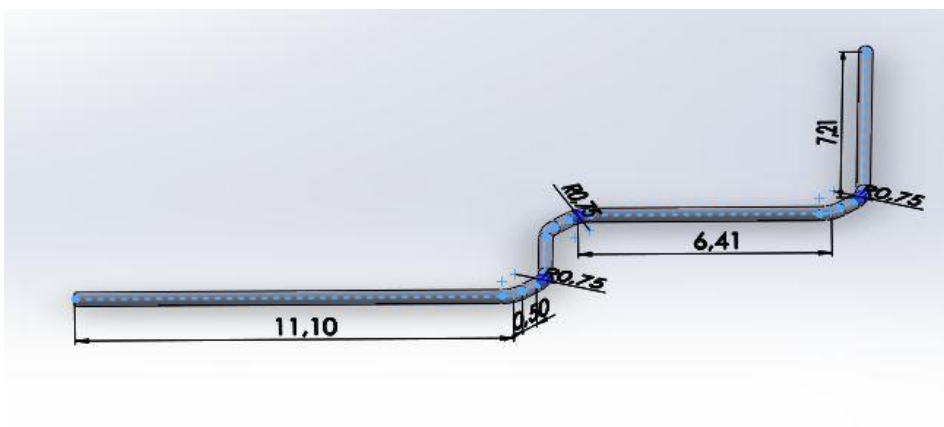
Gambar 4.9 *Expansion Loop Tipe U 45° 1,0 m*



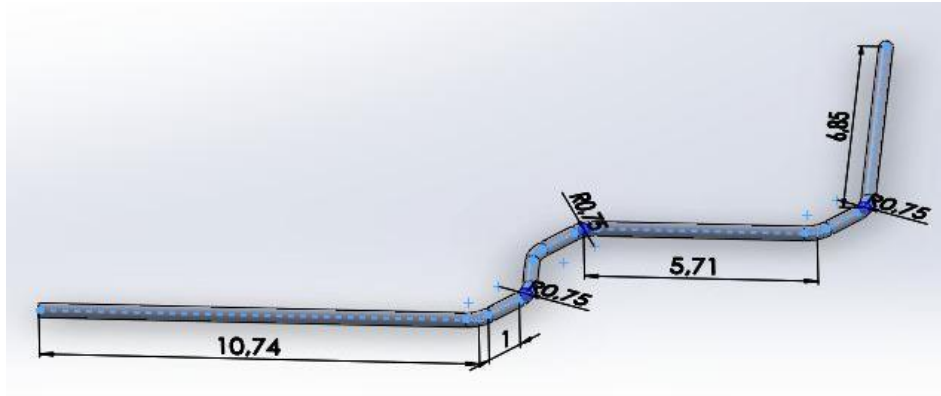
Gambar 4.10 *Expansion Loop Tipe U 45° 1,5 m*



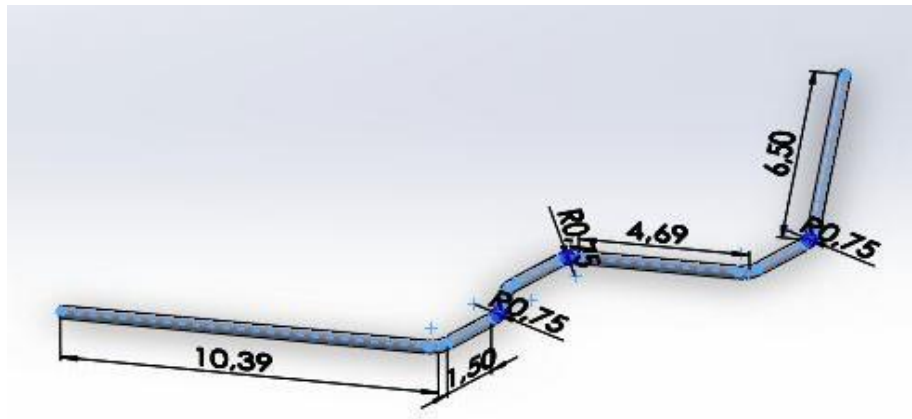
Gambar 4.11 *Expansion Loop Tipe Z 90°*



Gambar 4.12 *Expansion Loop Tipe Z 45° 0,5 m*



Gambar 4.13 *Expansion Loop Tipe Z 45° 1,0 m*



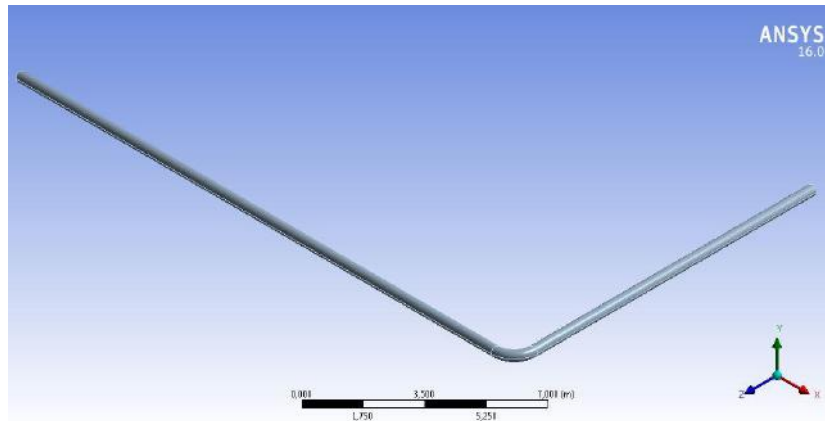
Gambar 4.14 *Expansion Loop Tipe Z 45° 1,5 m*

4.2.2 Pemodelan Aliran Fluida Menggunakan *Software* ANSYS Multiphysics.

Berikut ini adalah langkah-langkah pemodelan pola aliran pada *expansion loop* menggunakan *Software* ANSYS Multiphysics.

1. Input model dari SolidWork ke Ansys Multiphysics.

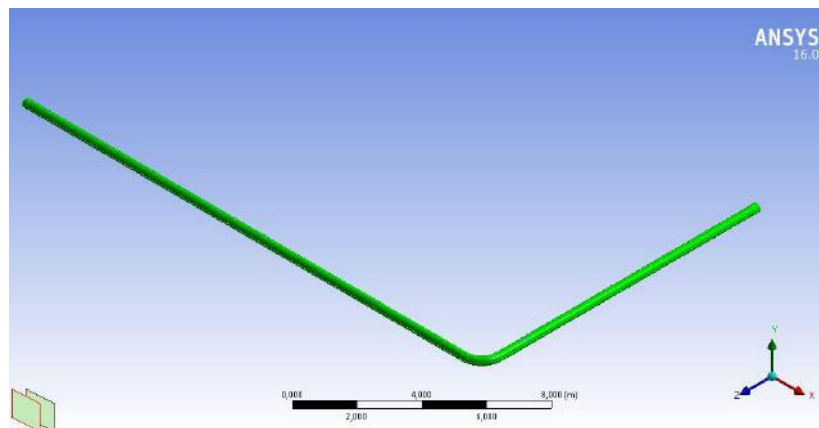
Setelah memodelkan pipa dari SolidWork, maka perlu di-*export* dalam bentuk .IGS sehingga dapat di-*import* ke *Software* ANSYS.



Gambar 4.15 Hasil *import* model SolidWork ke ANSYS

2. Memodelkan Fluida

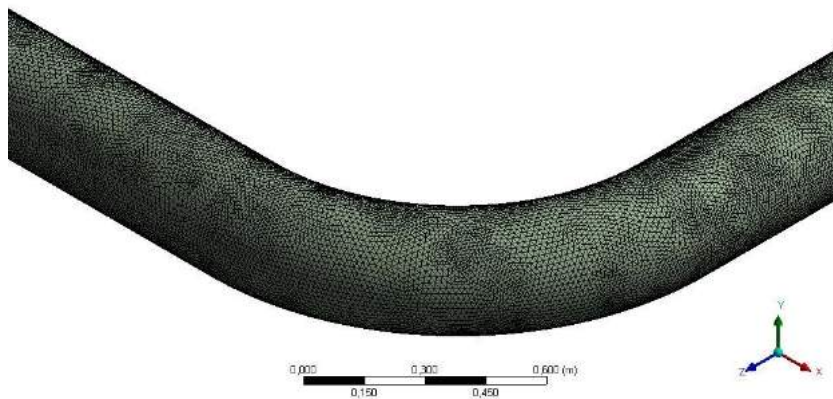
Fluida dianggap memenuhi ruang yang ada dalam pipa, oleh karena itu ruang yang ada dalam pipa dianggap sebagai fluida. Menggunakan *tools* “*Fill*” sehingga didapatkan geometri di dalam pipa. Sehingga didapatkan geometri fluida seperti pada gambar berikut.



Gambar 4.16 Hasil pemodelan geometri fluida pada ANSYS

3. Meshing Geometri.

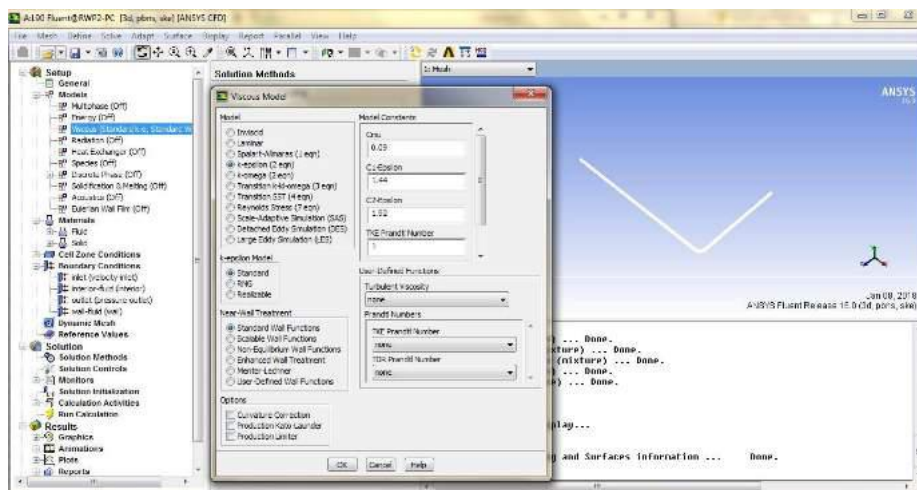
Setelah didapatkan geometri fluida, langkah selanjutnya adalah *supress* bagian pipa supaya geometri yang ditinjau hanya fluidanya saja, kemudian di-*meshing*. *Mesh* adalah membagi geometri menjadi bagian-bagian kecil sesuai kebutuhan. Pada pemodelan ini digunakan *meshing size* sebesar 0.001 m sehingga didapatkan gambar seperti berikut ini.



Gambar 4.17 Hasil *meshing* fluida pada *Software* ANSYS

4. Input Data.

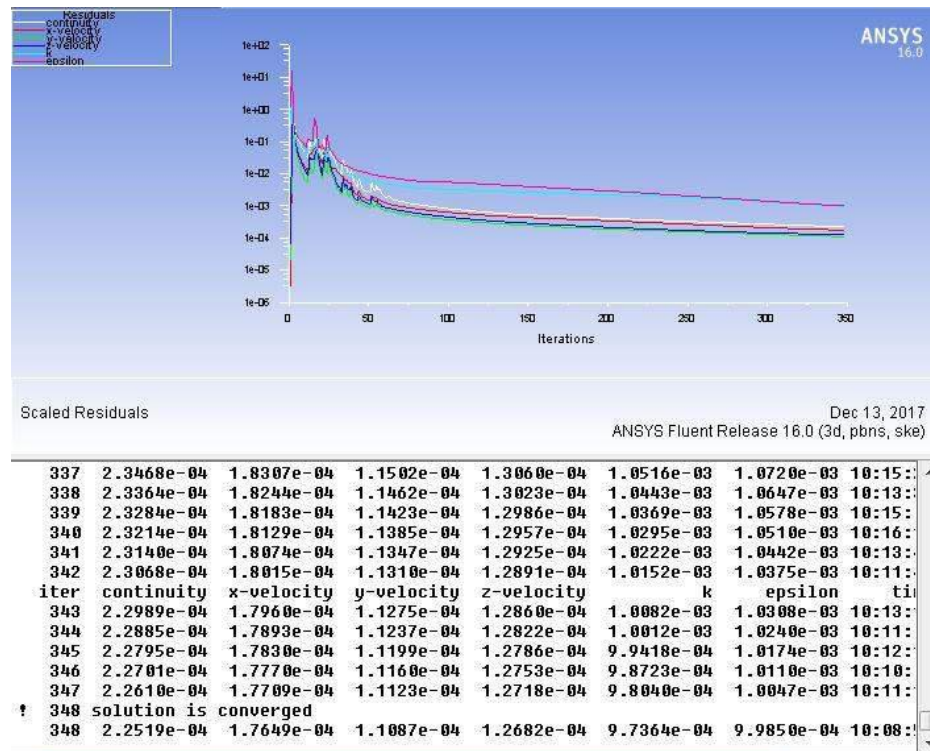
Pada ANSYS CFD ini dipilih pemodelan tipe k-epsilon dengan data-data yang dimasukkan diantaranya adalah kecepatan fluida di inlet, tekanan fluida, jenis fluida, *specific gravity*, dan jumlah literasi.



Gambar 4.18 Proses *input* data dan parameter pada *Software* ANSYS

5. Running.

Hasil pemodelan didapatkan setelah data-data pemodelan di-*running*. Dalam me-*running* harus ditunggu hingga nilai k, epsilon, x-velocity, y-velocity, z-velocity, dinyatakan konvergen seperti pada gambar berikut.

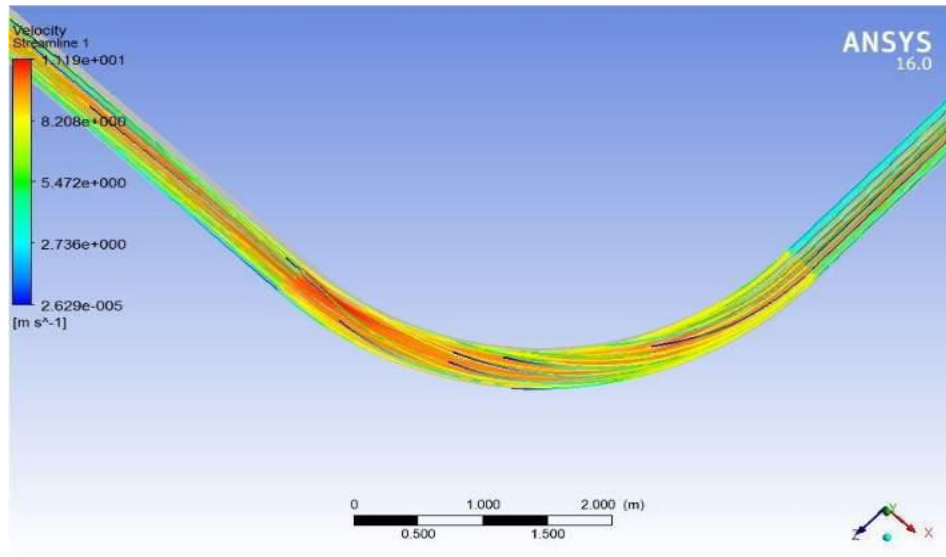


Gambar 4.19 Hasil *running iteration* pada ANSYS

4.3. Hasil Pola Aliran dan *Output Magnitude Velocity* Software ANSYS

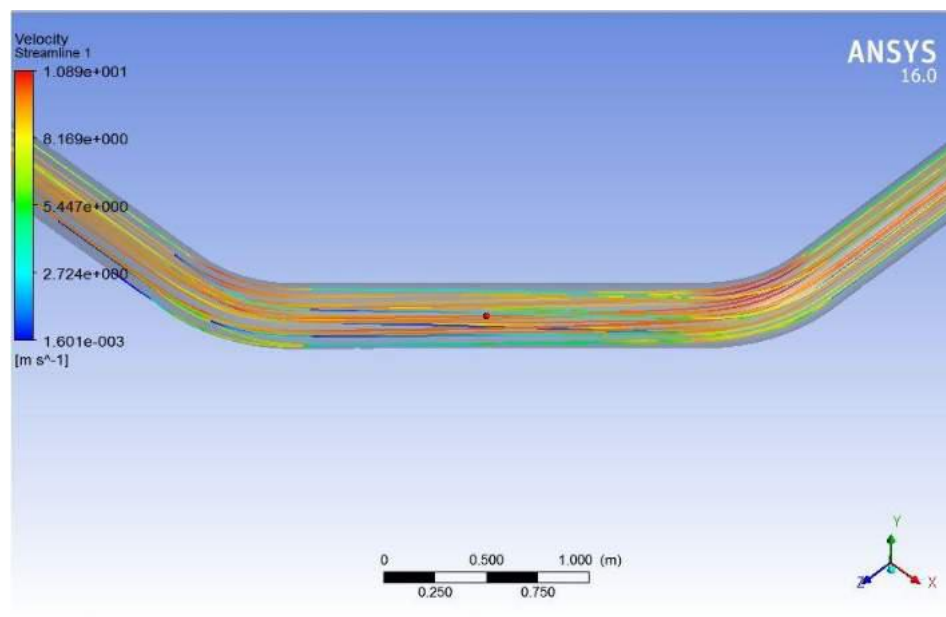
Aliran fluida dalam pipa dapat dianalisa berdasarkan *pressure* dan *velocity* akibat fluida yang mengalir dalam pipa terutama untuk daerah di sekitar belokan/elbow dengan bantuan *software* ANSYS. Pemodelan dilakukan untuk penampang fluida yang diasumsikan memenuhi isi pipa, sehingga pemodelan menyerupai penampang pipa dengan memvariasikan tipe-tipe *expansion loop* dan sudut *elbow*.

Hasil output dapat dilihat berupa pola aliran fluida dengan kontur kecepatan yang berbeda-beda. Dari gambar-gambar berikut ini dapat dilihat pada bagian elbow terjadi perubahan pola aliran yang signifikan. Semula aliran yang berasal dari inlet bergerak lurus/laminar, namun ketika fluida yang mengalir dalam pipa menabrak elbow terjadi pola aliran dan *velocity magnitude* yang acak.



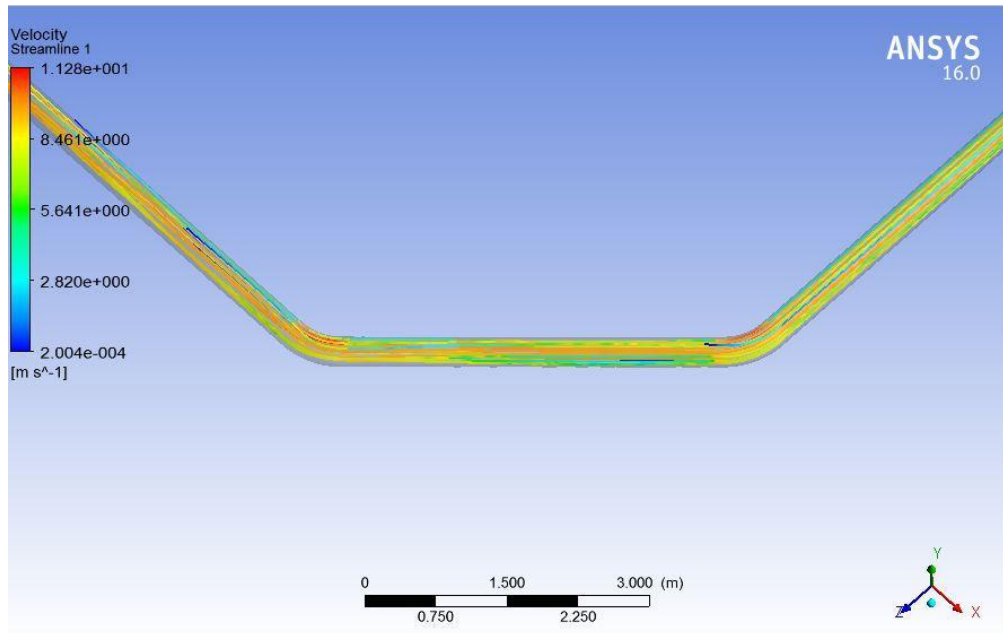
Gambar 4.20 Pemodelan Fluida pada *Expansion Loop* Tipe L 90°

Pada gambar 4.20 dapat dilihat perubahan kecepatan aliran di sekitar elbow, pada *expansion loop* tipe L 90° terjadi *velocity magnitude* terbesar 11,19 m/s.



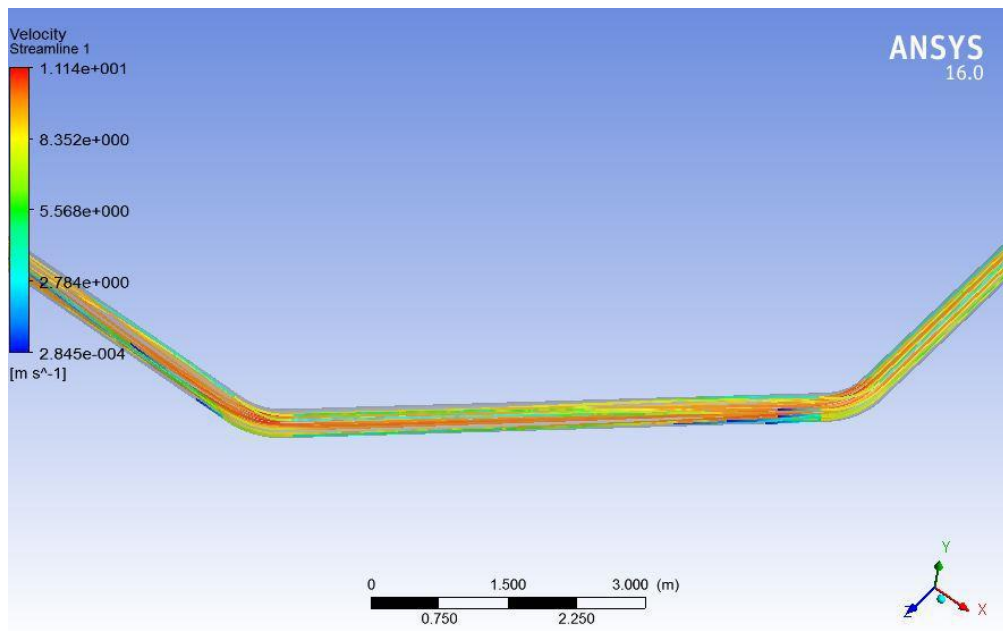
Gambar 4.21 Pemodelan Fluida pada *Expansion Loop* Tipe L 45° 2,0 m

Pada gambar 4.21 dapat dilihat perubahan kecepatan aliran di sekitar elbow, pada *expansion loop* tipe L 45° 2,0 m terjadi *velocity magnitude* terbesar 10,89 m/s. Telah terjadi penurunan kecepatan terbesar pada *expansion loop* tipe ini dibandingkan tipe L90°



Gambar 4.22 Pemodelan Fluida pada *Expansion Loop* Tipe L 45° 4,0 m

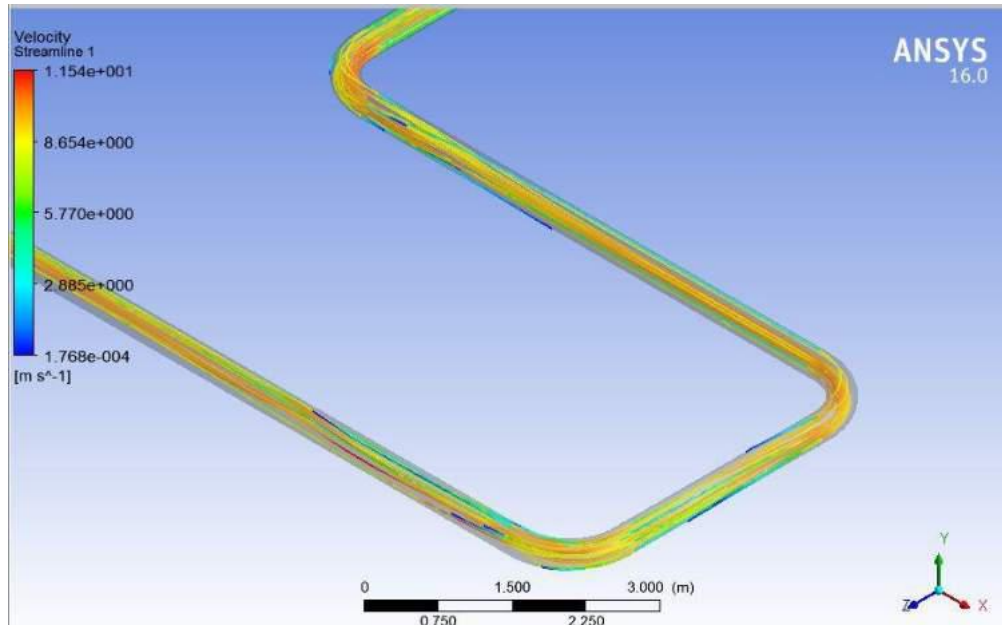
Pada gambar 4.22 dapat dilihat perubahan kecepatan aliran di sekitar elbow, pada *expansion loop* tipe L 45° 4,0 m terjadi *velocity magnitude* terbesar 11,28 m/s. Ketika lengan diperpanjang, kecepatan fluida maksimum menjadi membesar.



Gambar 4.23 Pemodelan Fluida pada *Expansion Loop* Tipe L 45° 6,0 m

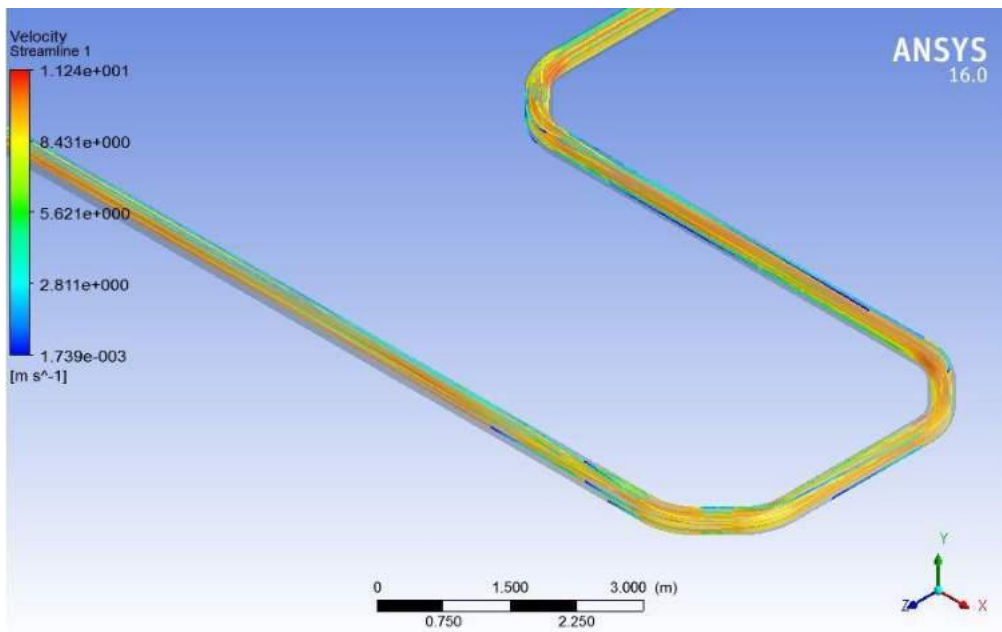
Pada gambar 4.23 dapat dilihat perubahan kecepatan aliran di sekitar elbow, pada *expansion loop* tipe L 45° 6,0 m terjadi *velocity magnitude*

terbesar 11,14 m/s. Kembali mengalami penurunan kecepatan namun untuk tipe 45° kecepatan maksimum yang terjadi membesar cukup signifikan dengan adanya penambahan lengan.



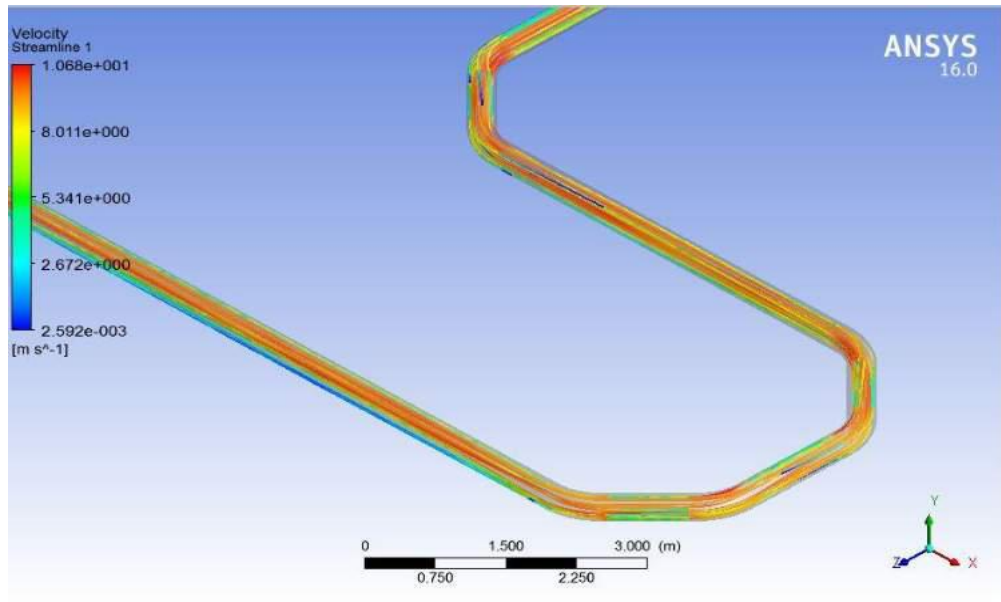
Gambar 4.24 Pemodelan Fluida pada *Expansion Loop* Tipe U 90°

Pada gambar 4.24 dapat dilihat perubahan kecepatan aliran di sekitar elbow, pada *expansion loop* tipe U 90° terjadi *velocity magnitude* terbesar 11,54 m/s.



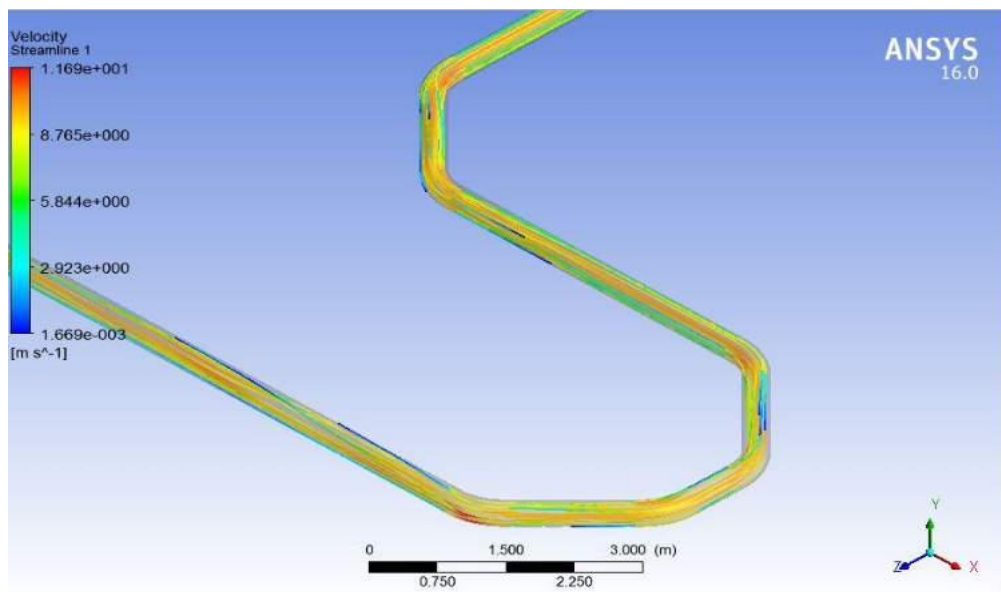
Gambar 4.25 Pemodelan Fluida pada *Expansion Loop* Tipe U 45° 0,5 m

Pada gambar 4.25 dapat dilihat perubahan kecepatan aliran di sekitar elbow, pada *expansion loop* tipe U 45° 0,5 m terjadi *velocity magnitude* terbesar 11,24 m/s. Terjadi penurunan kecepatan dibandingkan *expansion loop* tipe U 90°.



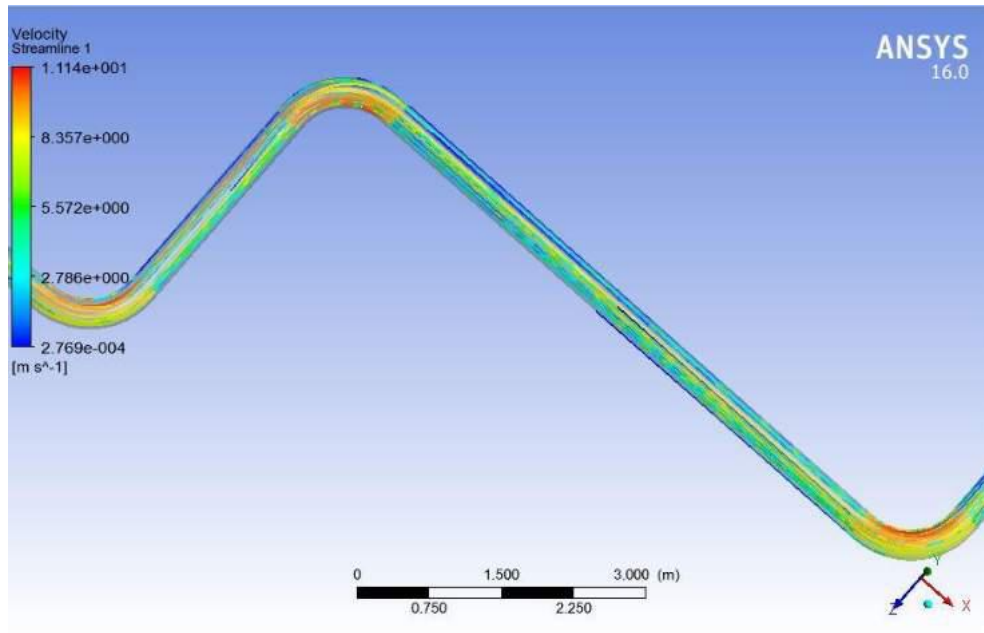
Gambar 4.26 Pemodelan Fluida pada *Expansion Loop* Tipe U 45° 1,0 m

Pada gambar 4.26 dapat dilihat perubahan kecepatan aliran di sekitar elbow, pada *expansion loop* tipe U 45° 1,0 m terjadi *velocity magnitude* terbesar 10,68 m/s. Kembali terjadi penurunan kecepatan dibandingkan *expansion loop* tipe U 90°.



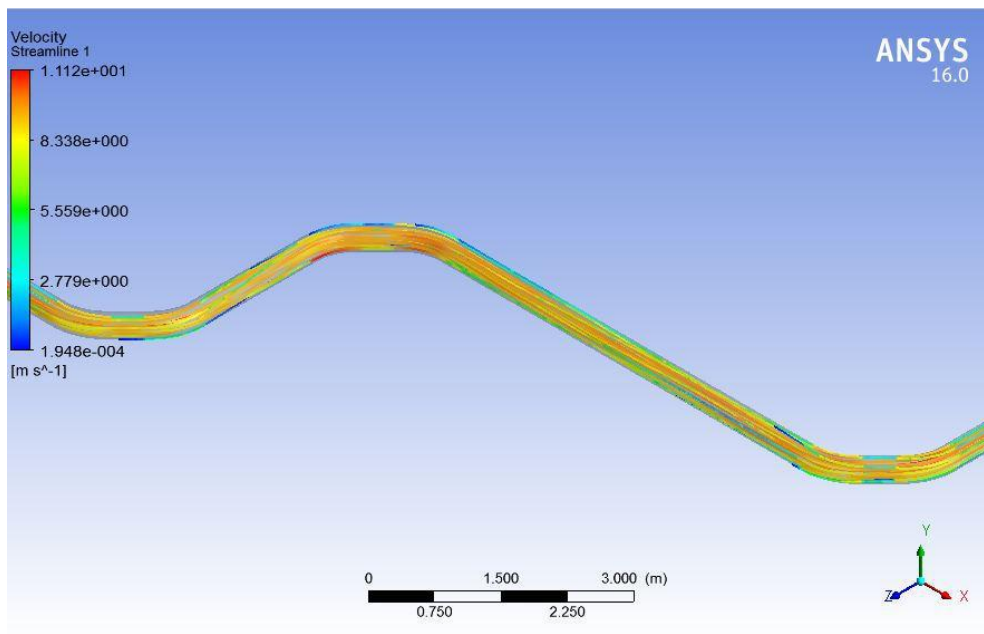
Gambar 4.27 Pemodelan Fluida pada *Expansion Loop* Tipe U 45° 1,5 m

Pada gambar 4.27 dapat dilihat perubahan kecepatan aliran di sekitar elbow, pada *expansion loop* tipe U 45° 1,5 m terjadi *velocity magnitude* terbesar 11,69 m/s. Terjadi peningkatan kecepatan ketika lengan lebih diperpanjang.



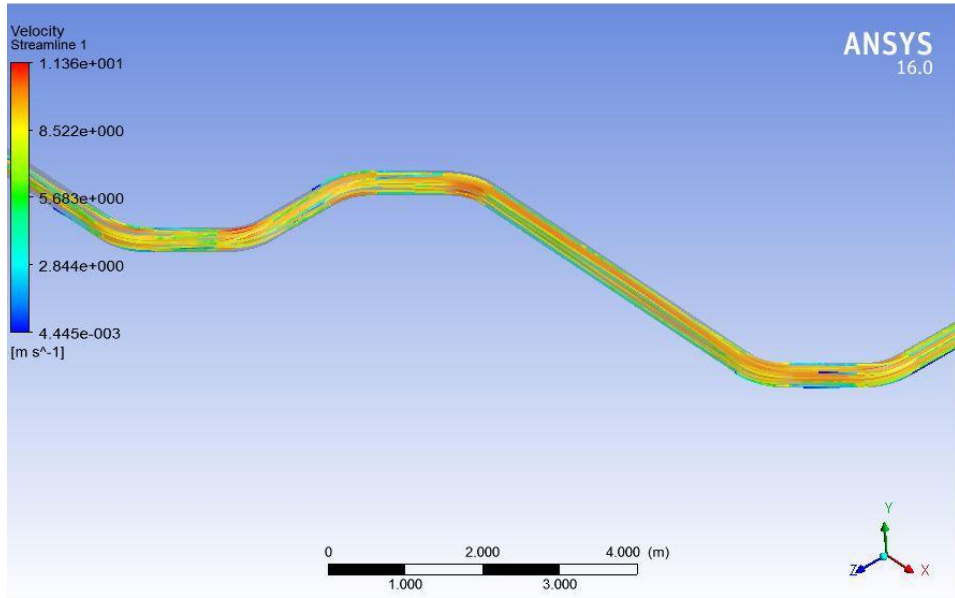
Gambar 4.28 Pemodelan Fluida pada *Expansion Loop* Tipe Z 90°

Pada gambar 4.28 dapat dilihat perubahan kecepatan aliran di sekitar elbow, pada *expansion loop* tipe Z 90° terjadi *velocity magnitude* terbesar 11,14 m/s.



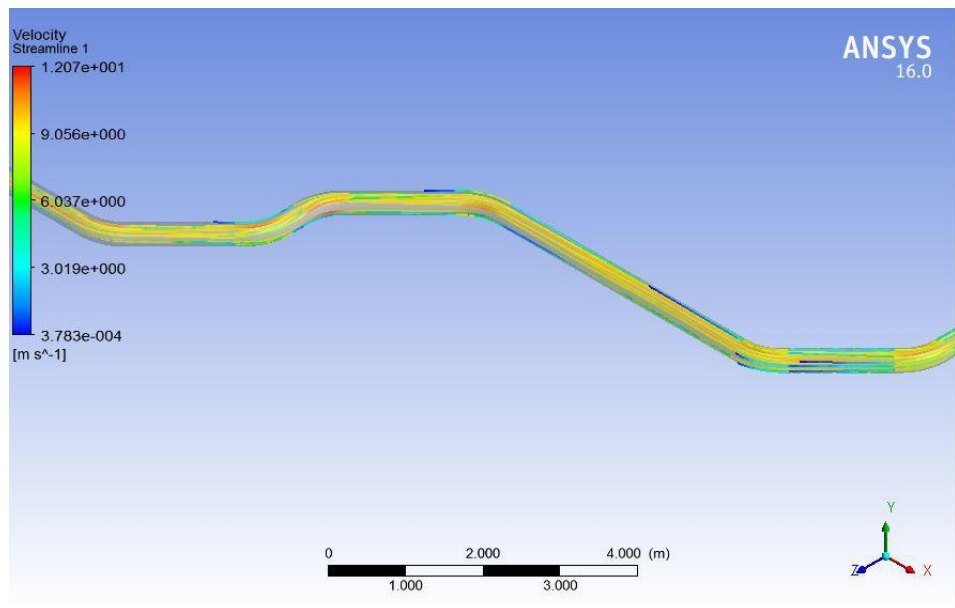
Gambar 4.29 Pemodelan Fluida pada *Expansion Loop* Tipe Z 45° 0,5 m

Pada gambar 4.29 dapat dilihat perubahan kecepatan aliran di sekitar elbow, pada *expansion loop* tipe Z 45° 0,5 m terjadi *velocity magnitude* terbesar 11,12 m/s. Tipe ini memiliki *magnitude velocity* yang lebih kecil daripada *expansion loop* tipe Z 90°.



Gambar 4.30 Pemodelan Fluida pada *Expansion Loop* Tipe Z 45° 1,0 m

Pada gambar 4.30 dapat dilihat perubahan kecepatan aliran di sekitar elbow, pada *expansion loop* tipe Z 45° 1,0 m terjadi *velocity magnitude* terbesar 11,36 m/s. *Magnitude velocity* kembali membesar ketika lengan diperbesar dari sebelumnya.



Gambar 4.31 Pemodelan Fluida pada *Expansion Loop* Tipe Z 45° 1,5 m

Pada gambar 4.31 dapat dilihat perubahan kecepatan aliran di sekitar elbow, pada *expansion loop* tipe Z 45° 1,5 m *velocity magnitude* kembali membesar yakni 12,07 m/s.

Besarnya nilai kecepatan maksimum pada masing-masing tipe *expansion loop* dirangkum pada **Tabel 4.1 – 4.3** dan **Grafik 4.1** berikut.

Tabel 4.1. Nilai *Magnitude Velocity Expansion Loop* Tipe L

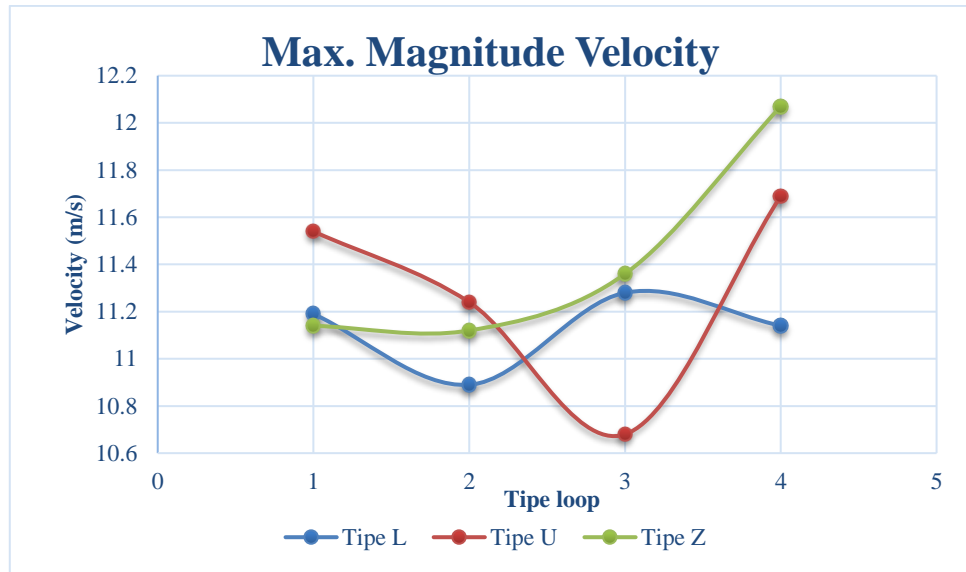
No.	Tipe <i>Expansion Loop</i>	Max. <i>Magnitude Velocity</i> (m/s)
1.	L 90°	11.19
2.	L45° (2,0 m)	10.89
3.	L 45° (4,0 m)	11.28
4.	L 45° (6,0 m)	11.14

Tabel 4.2. Nilai *Magnitude Velocity Expansion Loop* Tipe U

No.	Tipe <i>Expansion Loop</i>	Max. <i>Magnitude Velocity</i> (m/s)
1.	U 90°	11.54
2.	U 45° (2,0 m)	11.24
3.	U 45° (4,0 m)	10.68
4.	U 45° (6,0 m)	11.69

Tabel 4.3. Nilai *Magnitude Velocity Expansion Loop* Tipe Z

No.	Tipe <i>Expansion Loop</i>	Max. <i>Magnitude Velocity</i> (m/s)
1.	Z 90°	11.14
2.	Z 45° (2,0 m)	11.12
3.	Z 45° (4,0 m)	11.36
4.	Z 45° (6,0 m)	12.07



Grafik 4.1. Nilai *Magnitude Velocity Expansion Loop*

4.4 Hasil *Output Pressure* Hasil Pemodelan ANSYS

Variasi tipe *expansion loop* menyebabkan variasi nilai *pressure* yang diakibatkan oleh adanya aliran fluida dalam pipa, pada gambar hasil pemodelan berikut dapat dilihat bahwa nilai *pressure* terbesar akibat aliran internal berada di sekitar *elbow*. Hasil total *pressure* yang terjadi pada masing-masing tipe *expansion loop* dirangkum pada **Tabel 4.4 – 4.6** dan **Grafik 4.2** di bawah.

Tabel 4.4. Nilai *Pressure Output Expansion Loop Tipe L*

No.	Tipe <i>Expansion Loop</i>	Max. <i>Pressure Output</i> (MPa)
1.	L 90°	19.92
2.	L45° (2,0 m)	15.39
3.	L 45° (4,0 m)	8.92
4.	L 45° (6,0 m)	2.09

Pada **Tabel 4.4** dapat dilihat bahwa nilai *pressure output* hasil pemodelan pada tipe *elbow* 90° lebih besar daripada tipe *elbow* 45°. Dapat disimpulkan pula semakin lengan diperpanjang maka *pressure output* semakin mengecil.

Tabel 4.5. Nilai *Pressure Output Expansion Loop* Tipe U

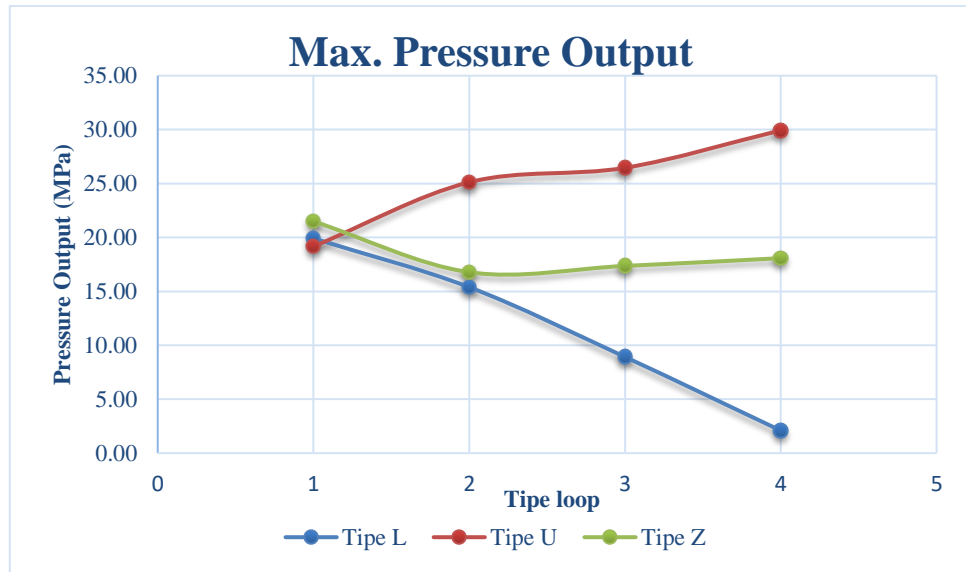
No.	Tipe <i>Expansion Loop</i>	Max. <i>Pressure Output</i> (MPa)
1.	U 90°	19.17
2.	U 45° (0,5 m)	25.12
3.	U 45° (1,0 m)	26.46
4.	U 45° (1,5 m)	29.93

Pada **Tabel 4.5** dapat dilihat bahwa nilai *pressure output* hasil pemodelan pada tipe *elbow* 90° lebih kecil daripada tipe *elbow* 45. Dari tabel tersebut juga dapat disimpulkan bahwa semakin panjang lengan maka nilai *pressure output* semakin besar pula.

Tabel 4.6. Nilai *Pressure Output Expansion Loop* Tipe Z

No.	Tipe <i>Expansion Loop</i>	Max. <i>Pressure Output</i> (MPa)
1.	Z 90°	21.49
2.	Z 45° (0,5 m)	16.78
3.	Z 45° (1,0 m)	17.36
4.	Z 45° (1,5 m)	18.08

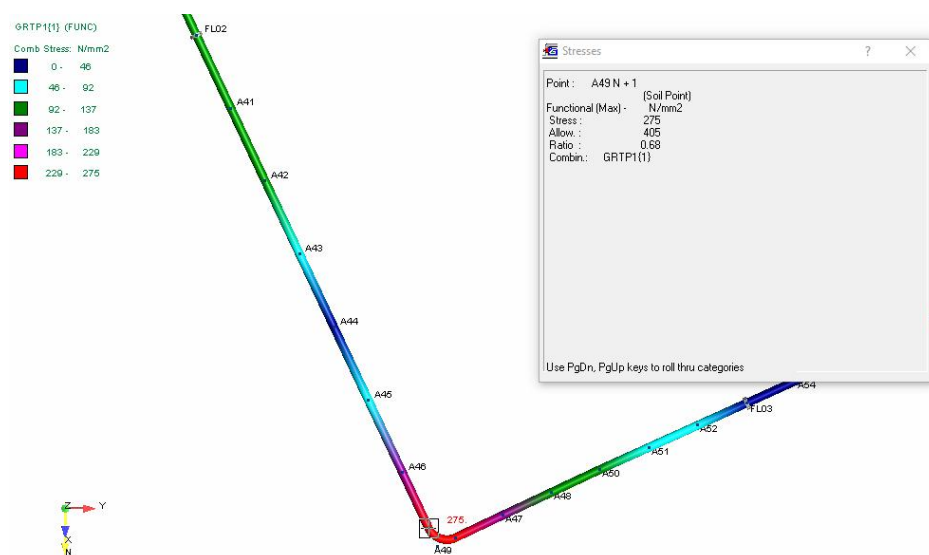
Pada **Tabel 4.6** dapat dilihat bahwa nilai *pressure output* hasil pemodelan pada tipe *elbow* 90° lebih besar daripada tipe *elbow* 45°. Dari tabel tersebut juga dapat disimpulkan bahwa semakin bertambah panjang lengan pada *elbow* 45° maka nilai *pressure output*nya semakin mengecil.



Grafik 4.2. Nilai *Output Pressure Expansion Loop*

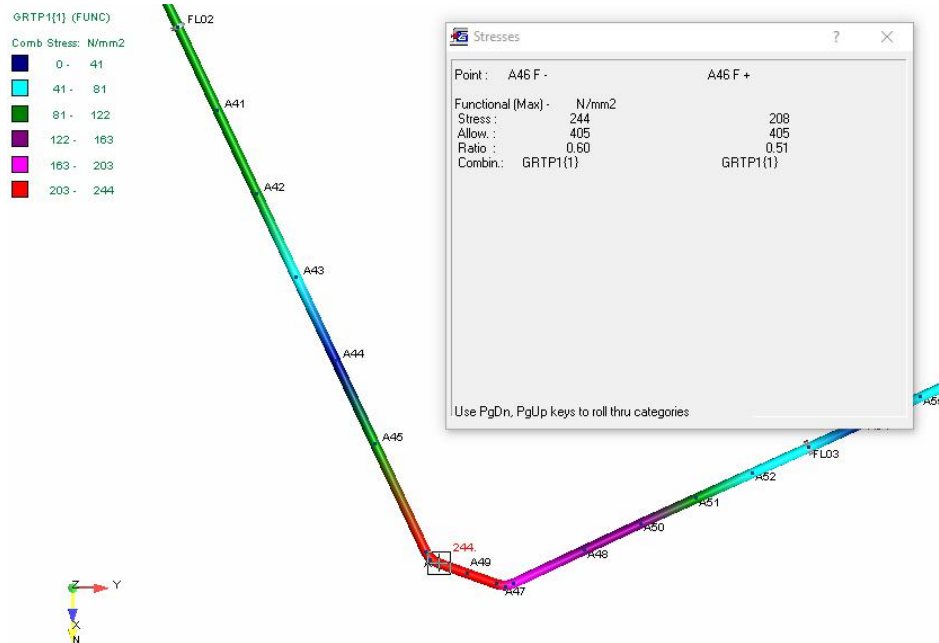
4.5 Hasil Nilai Tegangan.

Analisa tegangan pada expansion loop dilakukan menggunakan bantuan *Software* AutoPipe. Beberapa parameter yang dimasukkan ke dalam *software* diantaranya adalah NPS pipa, tekanan operasi, temperatur fluida, tekanan operasi, kedalaman laut, dan *property* fluida serta parameter lain yang telah disebutkan pada BAB III. Pada analisa tegangan ini yang didapatkan adalah nilai tegangan von-mises maksimum atau terbesar. Hasil running pemodelan tegangan dapat dilihat dan dijelaskan pada gambar-gambar berikut ini.



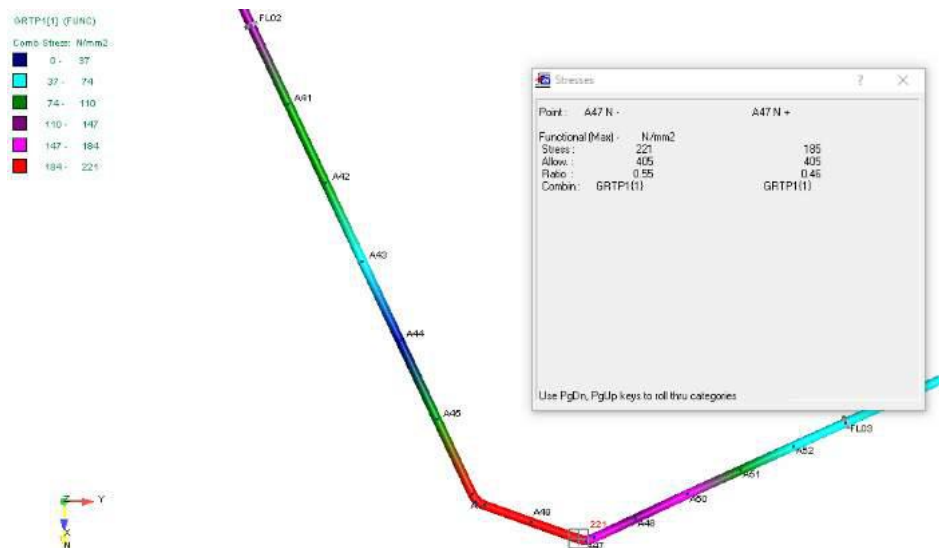
Gambar 4.32. *Stress Value* pada *Expansion Loop Tipe L 90°*

Pada **Gambar 4.32** dapat dilihat nilai *stress* akibat adanya aliran internal di sekitar elbow, pada *expansion loop* tipe L 90° terjadi *maximum stress output* sebesar 275 N/mm².



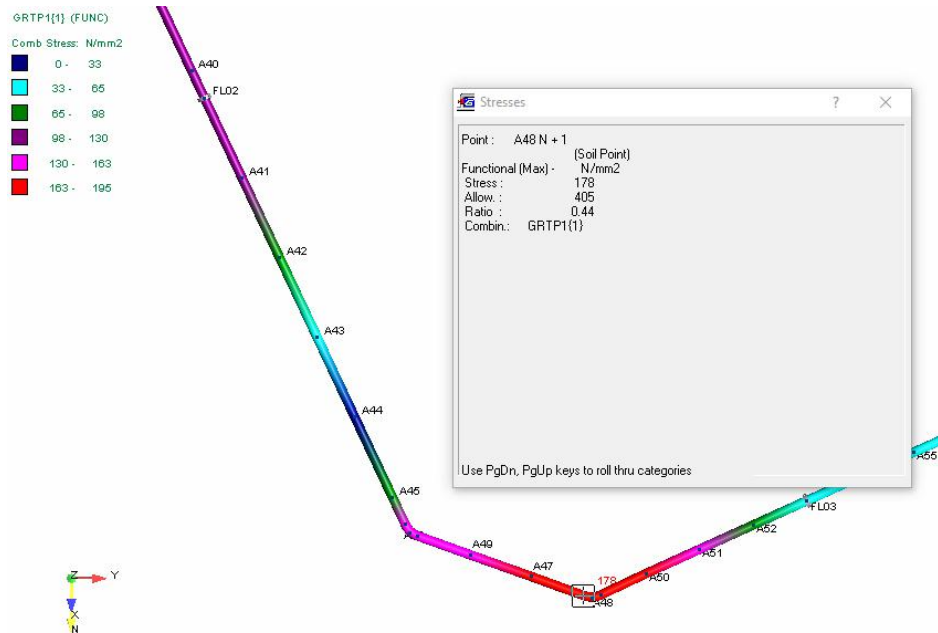
Gambar 4.33. *Stress Value* pada *Expansion Loop* Tipe L 45° (2,0 m)

Pada **Gambar 4.33** dapat dilihat nilai *stress* akibat adanya aliran internal di sekitar elbow, pada *expansion loop* tipe L 45° (2,0 m) terjadi *maximum stress output* sebesar 244 N/mm².



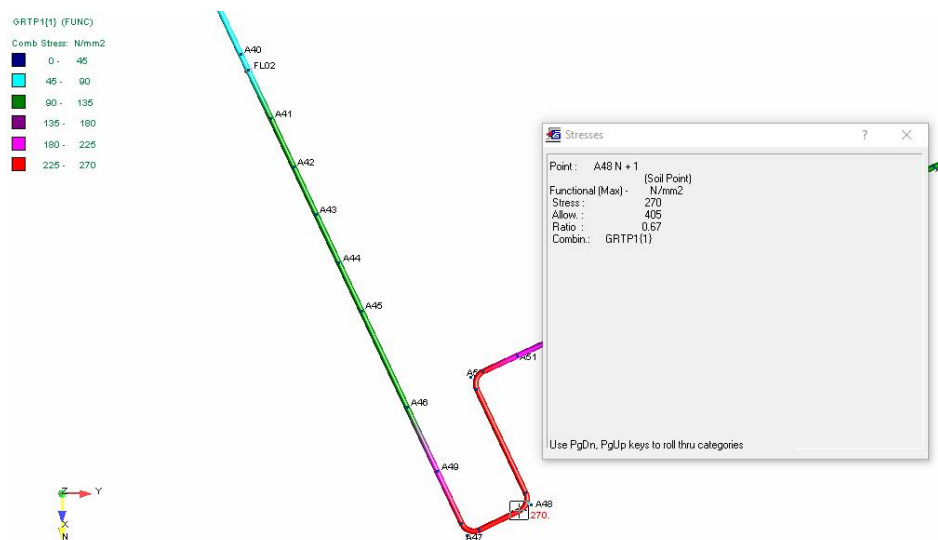
Gambar 4.34. *Stress Value* pada *Expansion Loop* Tipe L 45° (4,0 m)

Pada **Gambar 4.34** dapat dilihat nilai *stress* akibat adanya aliran internal di sekitar elbow, pada *expansion loop* tipe L 45° (4,0 m) terjadi *maximum stress output* sebesar 221 N/mm².



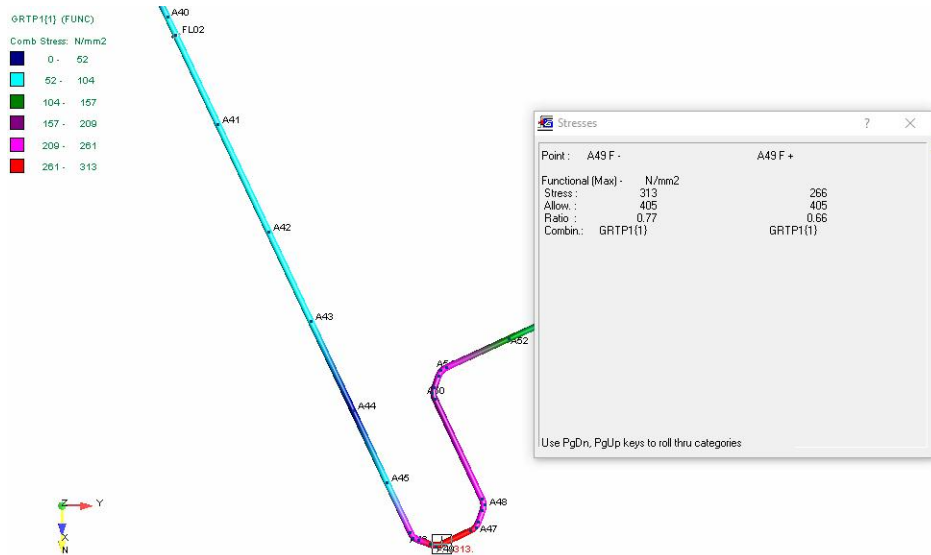
Gambar 4.35. *Pressure Output* pada *Expansion Loop* Tipe L 45° (6,0 m)

Pada **Gambar 4.35** dapat dilihat nilai *stress* akibat adanya aliran internal di sekitar elbow, pada *expansion loop* tipe L 45° (6,0 m) terjadi *maximum stress output* sebesar 178 N/mm².



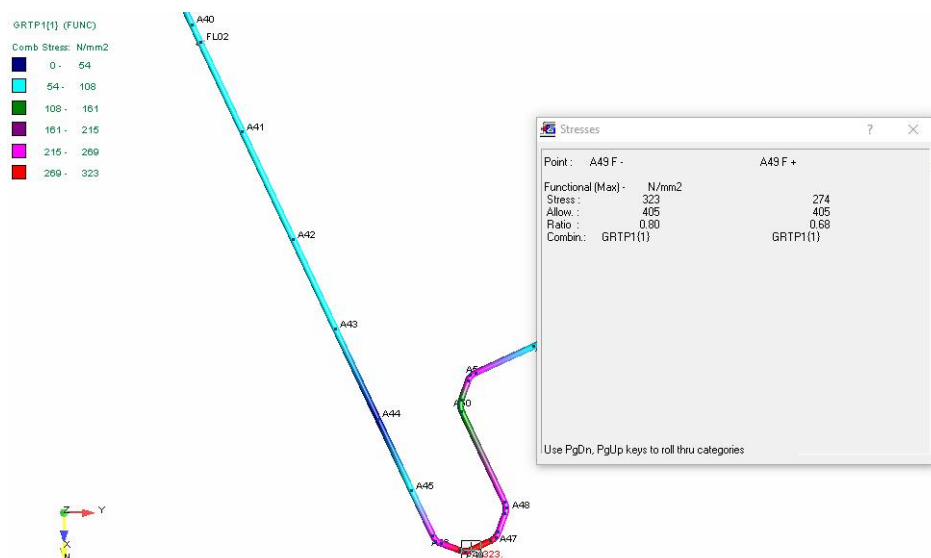
Gambar 4.36. *Pressure Output* pada *Expansion Loop* Tipe U 90°

Pada **Gambar 4.36** dapat dilihat nilai *stress* akibat adanya aliran internal di sekitar elbow, pada *expansion loop* tipe U 90° terjadi *maximum stress output* sebesar 270 N/mm².



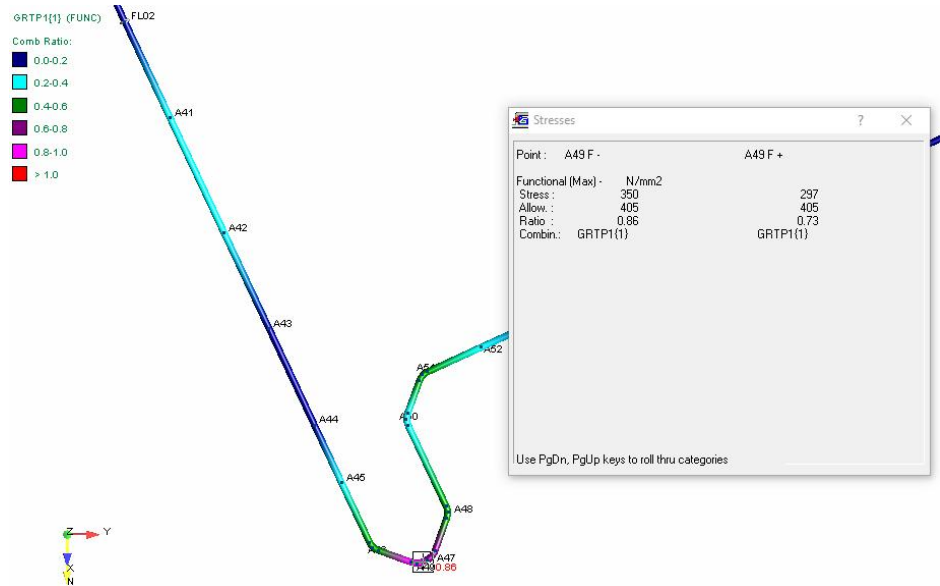
Gambar 4.37. *Pressure Output* pada *Expansion Loop* Tipe U 45° (0,5 m)

Pada **Gambar 4.37** dapat dilihat nilai *stress* akibat adanya aliran internal di sekitar elbow, pada *expansion loop* tipe U 45° (0,5 m) terjadi *maximum stress output* sebesar 313 N/mm².



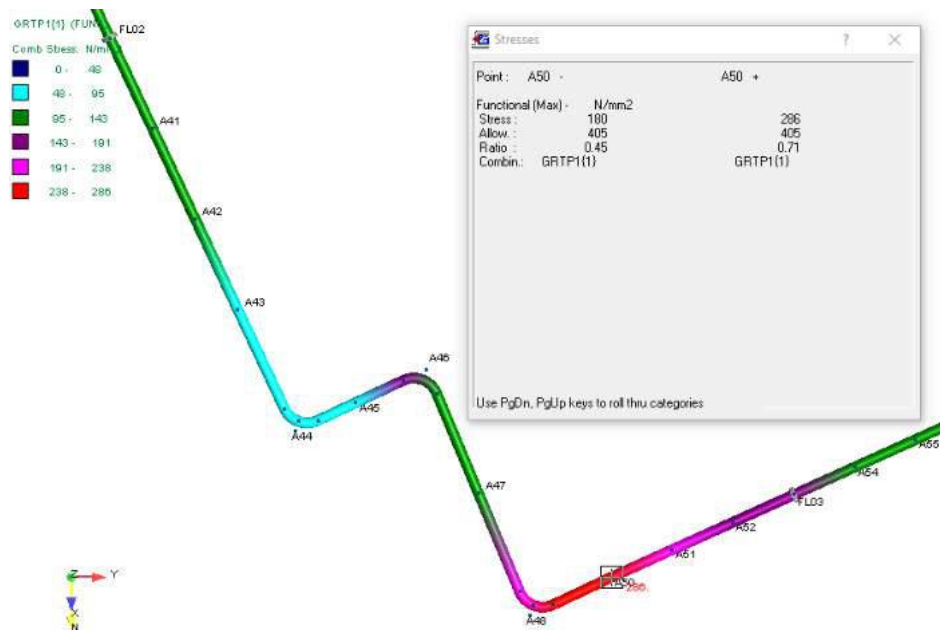
Gambar 4.38. *Pressure Output* pada *Expansion Loop* Tipe U 45° (1,0 m)

Pada **Gambar 4.38** dapat dilihat nilai *stress* akibat adanya aliran internal di sekitar elbow, pada *expansion loop* tipe U 45° (1,0 m) terjadi *maximum stress output* sebesar 323 N/mm².



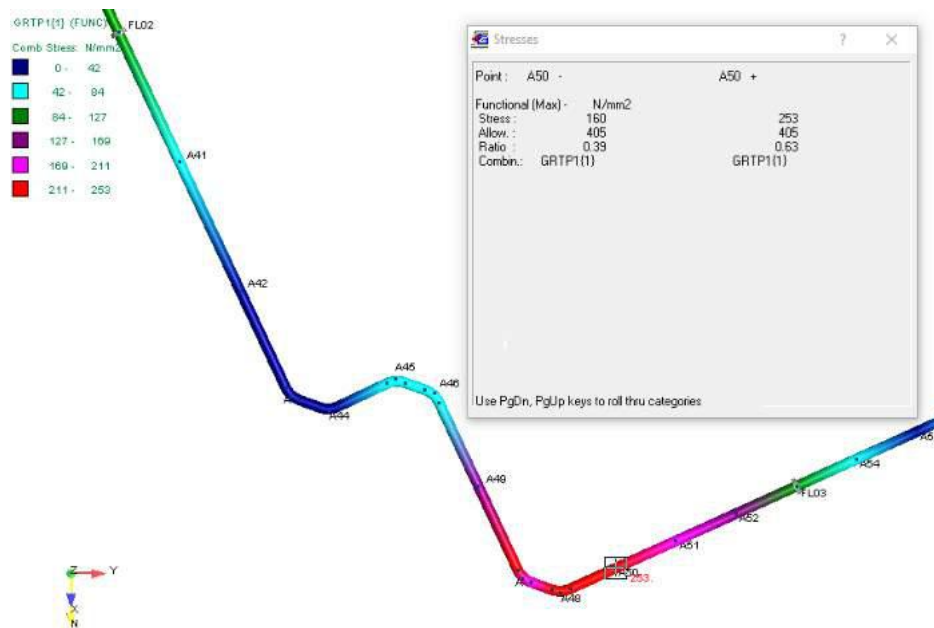
Gambar 4.39. *Pressure Output pada Expansion Loop Tipe U 45° (1,5 m)*

Pada **Gambar 4.39** dapat dilihat nilai *stress* akibat adanya aliran internal di sekitar elbow, pada *expansion loop* tipe U 45° (1,5 m) terjadi *maximum stress output* sebesar 350 N/mm².



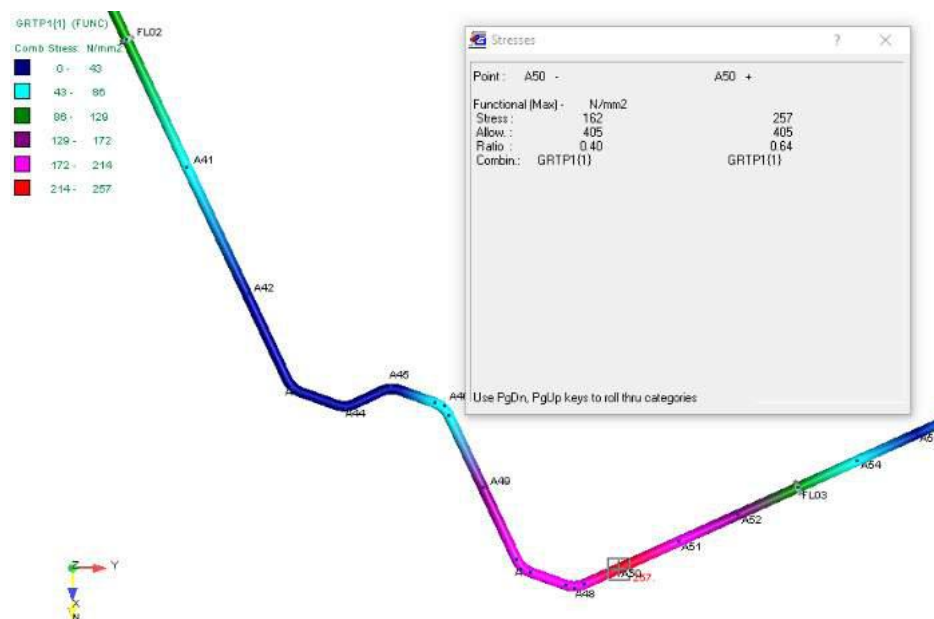
Gambar 4.40. *Pressure Output pada Expansion Loop Tipe Z 90°*

Pada **Gambar 4.40** dapat dilihat nilai *stress* akibat adanya aliran internal di sekitar elbow, pada *expansion loop* tipe Z 90° terjadi *maximum stress output* sebesar 286 N/mm².



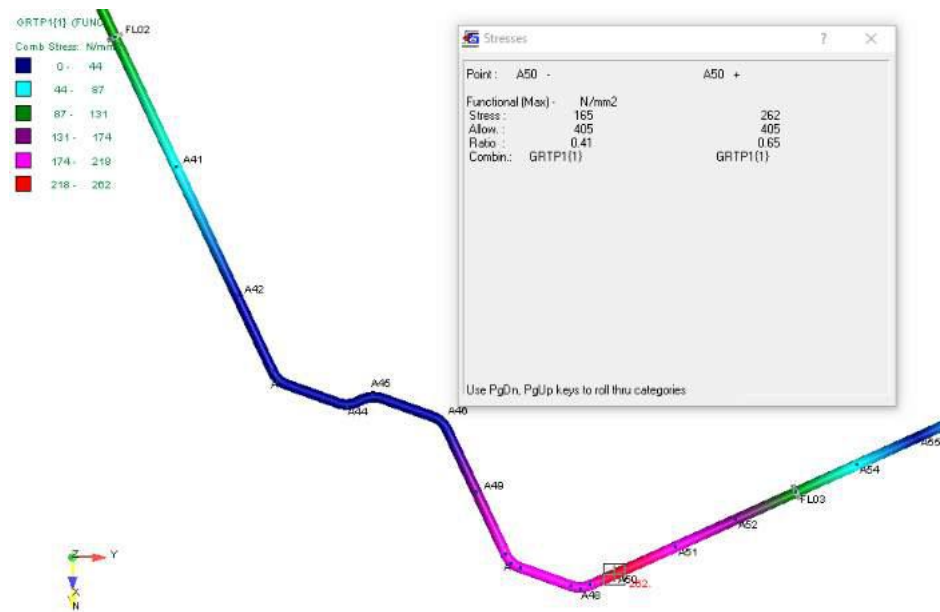
Gambar 4.41. *Pressure Output pada Expansion Loop Tipe Z 45° (0,5 m)*

Pada **Gambar 4.41** dapat dilihat nilai *stress* akibat adanya aliran internal di sekitar elbow, pada *expansion loop* tipe Z 45° (0,5 m) terjadi *maximum stress output* sebesar 253 N/mm².



Gambar 4.42. *Pressure Output pada Expansion Loop Tipe Z 45° (1,0 m)*

Pada **Gambar 4.42** dapat dilihat nilai *stress* akibat adanya aliran internal di sekitar elbow, pada *expansion loop* tipe Z 45° (1,0 m) terjadi *maximum stress output* sebesar 257 N/mm².



Gambar 4.43. *Pressure Output* pada *Expansion Loop* Tipe Z 45° (1,5 m)

Pada **Gambar 4.43** dapat dilihat nilai *stress* akibat adanya aliran internal di sekitar elbow, pada *expansion loop* tipe Z 45° (1,5 m) terjadi *maximum stress output* sebesar 262 N/mm².

Hasil tegangan maksimum yang terjadi pada masing-masing tipe *expansion loop* dirangkum pada **Tabel 4.7 – 4.9** dan **Grafik 4.3** di bawah.

Tabel 4.7. *Expansion Loop* Tipe L

No.	Tipe Expansion Loop	Nilai Tegangan (N/mm ²)
1.	L 90°	275
2.	L45° (2,0 m)	244
3.	L 45° (4,0 m)	206
4.	L 45° (6,0 m)	178

Pada **Tabel 4.7** dapat dilihat bahwa nilai tegangan yang terjadi pada *expansion loop* tipe *elbow* 90° lebih besar daripada tipe *elbow* 45° dan semakin mengecil seiring pertambahan panjang lengan.

Tabel 4.8. Expansion Loop Tipe U

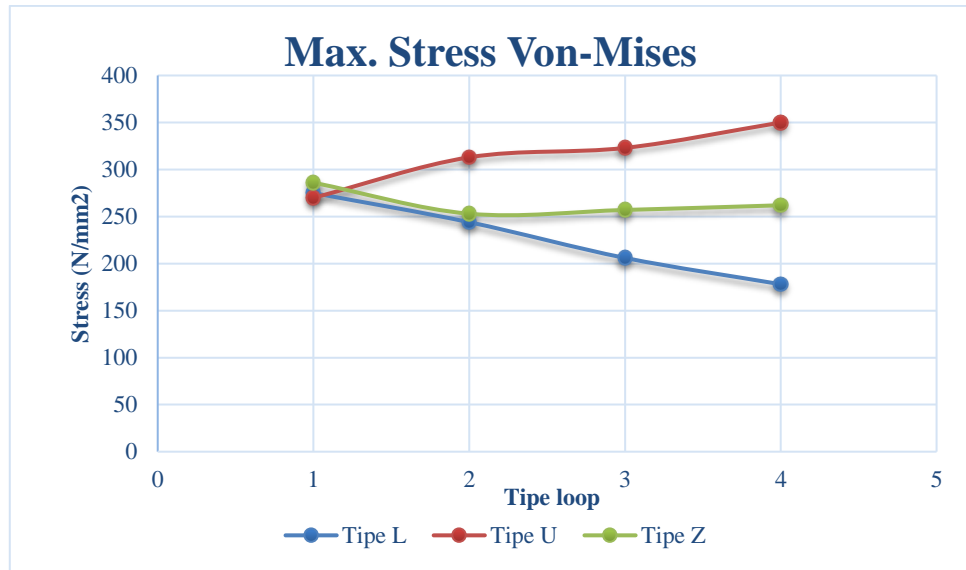
No.	Tipe Expansion Loop	Nilai Tegangan (N/mm ²)
1.	U 90°	270
2.	U 45° (0,5 m)	313
3.	U 45° (1,0 m)	323
4.	U 45° (1,5 m)	350

Pada **Tabel 4.8** dapat dilihat bahwa nilai tegangan yang terjadi pada *expansion loop* tipe *elbow* 90° lebih besar daripada tipe *elbow* 45° dan semakin membesar seiring pertambahan panjang lengan.

Tabel 4.9. Expansion Loop Tipe Z

No.	Tipe Expansion Loop	Nilai Tegangan (N/mm ²)
1.	Z 90°	286
2.	Z 45° (0,5 m)	253
3.	Z 45° (1,0 m)	257
4.	Z 45° (1,5 m)	262

Pada **Tabel 4.9** dapat dilihat bahwa nilai tegangan yang terjadi pada *expansion loop* tipe *elbow* 90° lebih besar daripada tipe *elbow* 45°. Namun, ketika lengan diperpanjang pertama mengalami penurunan nilai tegangan dan semakin membesar secara signifikan seiring pertambahan panjang lengan berikutnya.



Grafik 4.3. Nilai *Maximum Stress Expansion Loop*

4.6 Hasil Nilai Defleksi.

Defleksi pipa adalah fenomena perubahan kondisi pipa akibat adanya gaya eksternal yang mempengaruhi pipa. Pada kasus ini gaya eksternal yang bekerja adalah tekanan hidrostatik, tekanan fluida, suhu fluida, dan lain-lain. Besarnya defleksi yang terjadi akibat adanya tegangan pada pipa dirangkum pada **Tabel 4.10 – 4.12** dan **Grafik 4.4** berikut.

Tabel 4.10. Expansion Loop Tipe L

No.	Tipe Expansion Loop	Deflection (mm)
1.	L 90°	3,311
2.	L45° (2,0 m)	3,205
3.	L 45° (4,0 m)	3,232
4.	L 45° (6,0 m)	3,367

Pada **Tabel 4.10** dapat dilihat bahwa nilai *deflection* hasil pemodelan pada tipe *elbow* 90° lebih besar daripada tipe *elbow* 45° kecuali untuk perpanjangan lengan 6 m. Dari tabel tersebut juga dapat disimpulkan bahwa semakin bertambah panjang lengan pada *elbow* 45° maka nilai *deflection*nya semakin mengecil.

Tabel 4.11. *Expansion Loop Tipe U*

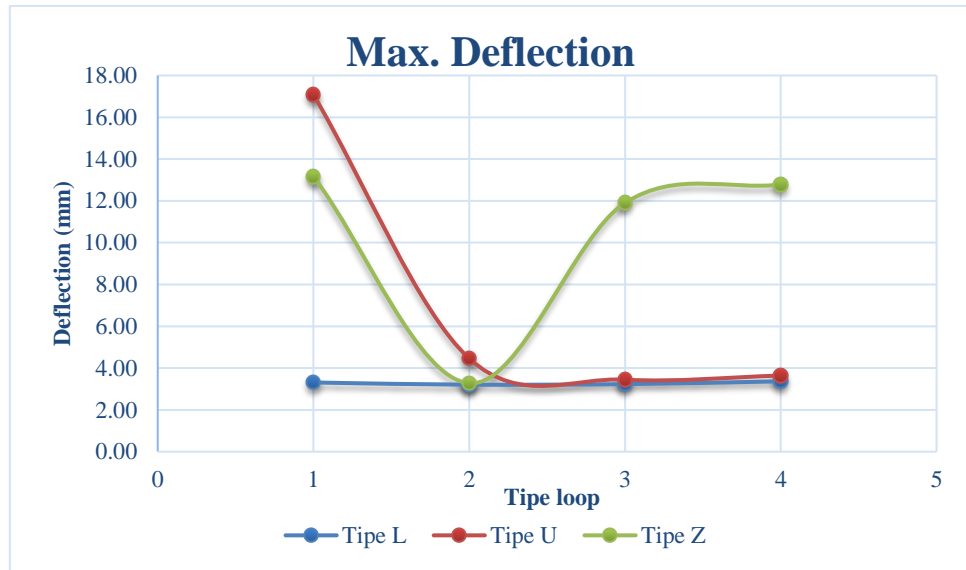
No.	Tipe Expansion Loop	Deflection (mm)
1.	U 90°	17,077
2.	U 45° (0,5 m)	4,457
3.	U 45° (1,0 m)	3,446
4.	U 45° (1,5 m)	3,641

Pada **Tabel 4.11** dapat dilihat bahwa nilai *deflection* hasil pemodelan pada tipe *elbow* 90° lebih besar daripada tipe *elbow* 45°. Dari tabel tersebut juga dapat disimpulkan bahwa ketika perpanjangan lengan 0,5 m pertama pada *elbow* 45° maka nilai *deflection*nya semakin mengecil namun pada perpanjangan lengan kedua pada *elbow* 45° maka nilai *deflection*nya kembali membesar.

Tabel 4.12. *Expansion Loop Tipe Z*

No.	Tipe Expansion Loop	Deflection (mm)
1.	Z 90°	13,169
2.	Z 45° (0,5 m)	3,274
3.	Z 45° (1,0 m)	11,903
4.	Z 45° (1,5 m)	12,782

Pada **Tabel 4.12** dapat dilihat bahwa nilai *deflection* hasil pemodelan pada tipe *elbow* 90° lebih besar daripada tipe *elbow* 45°. Dari tabel tersebut juga dapat disimpulkan semakin panjang lengan pada *elbow* 45° maka nilai *deflection*nya semakin membesar pula.



Grafik 4.4. Nilai *Maximum Deflection Expansion Loop*

4.7 Koreksi Software dan Manual

Koreksi hasil *software* dengan perhitungan manual diperlukan supaya hasil yang didapatkan *valid*. Koreksi dalam sub-bab ini membahas mengenai hasil *output* tegangan von mises *software* dengan perhitungan manual. Besarnya tegangan von mises (σ_E) dapat dihitung menggunakan persamaan (2.20)

$$\sigma_E = \sqrt{\sigma_h^2 - (\sigma_h \sigma_L) + \sigma_L^2}$$

Besarnya tegangan *hoop* (σ_h) dapat dihitung menggunakan persamaan (2.14)

$$\sigma_h = P_i \left(\frac{D}{2t} \right)$$

Pi adalah tekanan internal yang nilainya didapatkan dari *running* ANSYS, D merupakan diameter luar pipa yang nilainya 14 in, sedangkan t merupakan ketebalan pipa sebesar 0,6899 in. Perhitungan tegangan *hoop* selebihnya dirangkum pada **Tabel 4.13** di bawah ini.

Tabel 4.13. Perhitungan Tegangan *Hoop*

No	Tipe	Pressure Output (Mpa)	OD (in)	Thickness (in)	Tegangan Hoop (Pa)
1	L90	19920000.00	14	0.6899	202116248.73
2	L45A	15390000.00	14	0.6899	156153065.66
3	L45B	8920000.00	14	0.6899	90505870.42
4	L45C	2090000.00	14	0.6899	21205971.88
5	U90	19170000.00	14	0.6899	194506450.21
6	U45A	25120000.00	14	0.6899	254877518.48
7	U45B	26460000.00	14	0.6899	268473691.84
8	U45C	29930000.00	14	0.6899	303681693.00
9	Z90	21490000.00	14	0.6899	218046093.64
10	Z45A	16780000.00	14	0.6899	170256558.92
11	Z45B	17360000.00	14	0.6899	176141469.78
12	Z45C	18080000.00	14	0.6899	183446876.36

Besarnya tegangan *longitudinal* (σ_L) dapat dihitung menggunakan persamaan (2.18).

$$\sigma_L = v \cdot \sigma_h - E\alpha(T_2 - T_1)$$

Nilai v adalah *poisson ratio* sebesar 0.3, E adalah *modulus young* untuk bajakarbon sebesar 2.07×10^5 MPa, α merupakan koefisien ekspansi termal sebesar $11.7 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{F}^{-1}$, T_2 dan T_1 adalah suhu operasi maksimum dan suhu saat instalasi. Perhitungan tegangan *longitudinal* disederhanakan pada **Tabel 4.14**.

Tabel 4.14. Perhitungan Tegangan *Longitudinal*

No	Tipe	Modulus Elastisitas (Pa)	Koef Ekspansi ($^\circ\text{F}^{-1}$)	Temperatur Operasi ($^\circ\text{F}$)	Temperatur Instalasi ($^\circ\text{F}$)	Tegangan Longitudinal (Pa)
1	L90	2.07E+11	1.17E-05	158	86	-113741925.38
2	L45A	2.07E+11	1.17E-05	158	86	-127530880.30
3	L45B	2.07E+11	1.17E-05	158	86	-147225038.88
4	L45C	2.07E+11	1.17E-05	158	86	-168015008.44
5	U90	2.07E+11	1.17E-05	158	86	-116024864.94
6	U45A	2.07E+11	1.17E-05	158	86	-97913544.46
7	U45B	2.07E+11	1.17E-05	158	86	-93834692.45
8	U45C	2.07E+11	1.17E-05	158	86	-83272292.10
9	Z90	2.07E+11	1.17E-05	158	86	-108962971.91
10	Z45A	2.07E+11	1.17E-05	158	86	-123299832.32
11	Z45B	2.07E+11	1.17E-05	158	86	-121534359.07
12	Z45C	2.07E+11	1.17E-05	158	86	-119342737.09

Berdasarkan koreksi ASME B31.8 pada persamaan (2.21) maka nilai tegangan-tegangan tersebut memenuhi 90% SMSY sebesar 405.5 N/mm^2 . Setelah didapatkan nilai tegangan *hoop* dan tegangan *longitudinal* maka dapat dihitung besarnya nilai tegangan von-mises seperti pada **Tabel 4.15** berikut.

Tabel 4.15. Perhitungan Tegangan Von-Mises

No	Tipe	Tegangan Hoop (Pa)	Tegangan Longitudinal (Pa)	Tegangan Ekvivalen Von-Mises (Pa)
1	L90	202116248.73	-113741925.38	277087161.1
2	L45A	156153065.66	-127530880.30	246093972.4
3	L45B	90505870.42	-147225038.88	207825058.5
4	L45C	21205971.88	-168015008.44	179559622
5	U90	194506450.21	-116024864.94	271775850.8
6	U45A	254877518.48	-97913544.46	315445039.4
7	U45B	268473691.84	-93834692.45	325691908.1
8	U45C	303681693.00	-83272292.10	352767793.2
9	Z90	218046093.64	-108962971.91	288402459.4
10	Z45A	170256558.92	-123299832.32	255309125.7
11	Z45B	176141469.78	-121534359.07	259236684.2
12	Z45C	183446876.36	-119342737.09	264175126.9

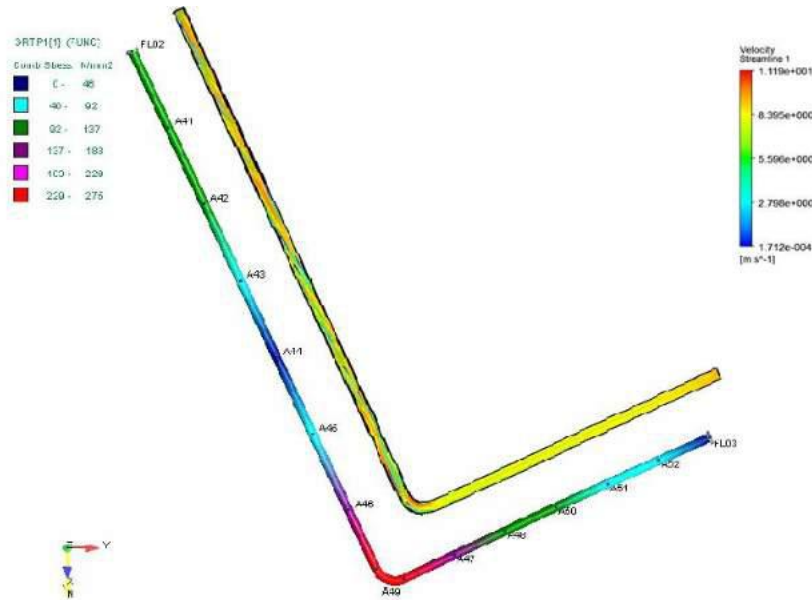
Besarnya koreksi didapatkan dari perbandingan hasil Tegangan Von-Mises *software* dan manual seperti pada **Tabel 4.16** berikut ini.

Tabel 4.16. Koreksi tegangan perhitungan *software* dengan manual

Tipe	Manual (MPa)	Software (MPa)	Koreksi
L90	277.0872	275	0.76 %
L45A	246.0940	244	0.86 %
L45B	207.8251	206	0.89 %
L45C	179.5596	178	0.88 %
U90	271.7759	270	0.66 %
U45A	315.4450	313	0.78 %
U45B	325.6919	323	0.83 %
U45C	352.7678	350	0.79 %
Z90	288.4025	286	0.84 %
Z45A	255.3091	253	0.91 %
Z45B	259.2367	257	0.87 %
Z45C	264.1751	262	0.83 %

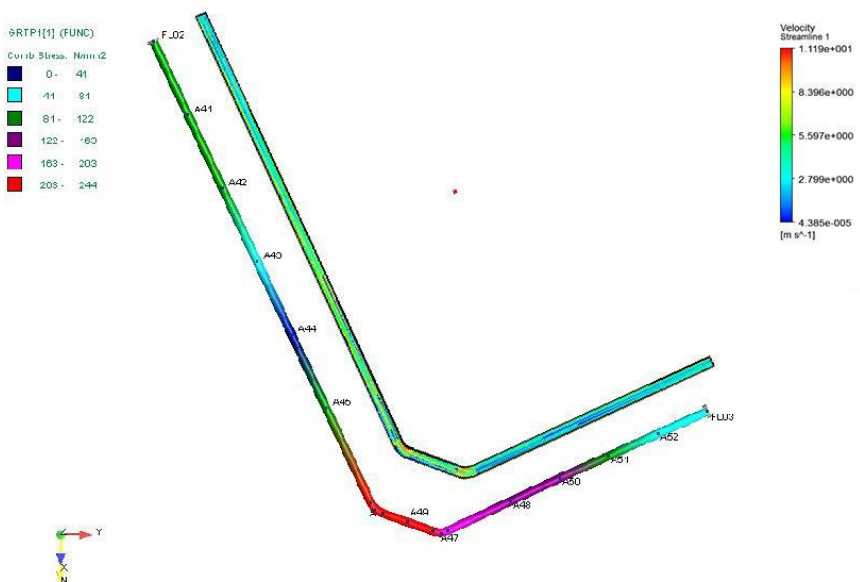
4.8 Komparasi Pola Aliran dan Tegangan

Hubungan antara pola aliran internal fluida dengan tegangan yang terjadi pada dinding pipa dapat dijelaskan pada **Gambar 4.39 – 4.50** di bawah ini.



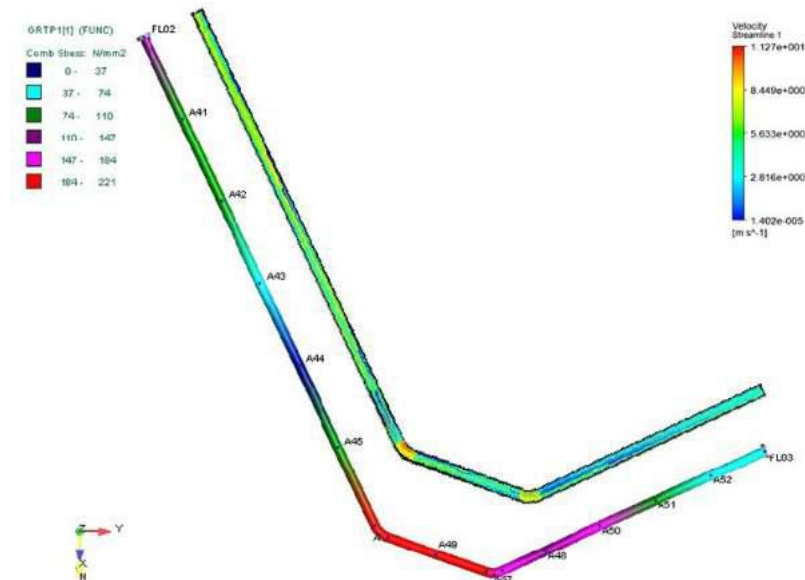
Gambar 4.44. Perbandingan Tegangan dan Pola Aliran pada *Loop* Tipe L 90°

Pada **Gambar 4.44** dapat dilihat bahwa tegangan terbesar yang terjadi pada bagian *elbow*, pola aliran yang terjadi awalnya adalah jenis laminar namun pada elbow berubah menjadi jenis aliran turbulen hingga bagian *outlet*.



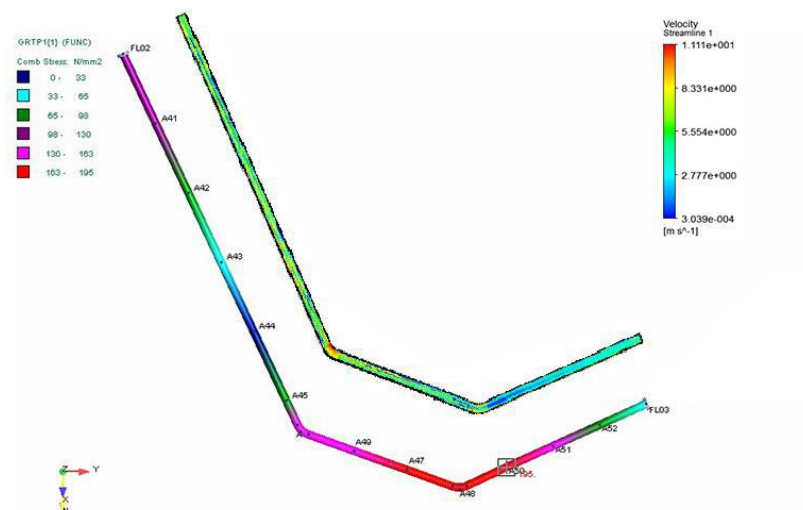
Gambar 4.45. Perbandingan Tegangan dan Pola Aliran pada *Loop* Tipe L45°(2 m)

Pada **Gambar 4.45**, dapat dilihat tegangan terbesar terjadi pada bagian *elbow*, pola aliran jenis laminar terjadi pada bagian inlet namun ada sedikit perubahan kecepatan sehingga aliran menjadi turbulen pada bagian *elbow*.



Gambar 4.46. Perbandingan Tegangan dan Pola Aliran pada *Loop* Tipe L45°(4m)

Pada **Gambar 4.46** dapat dilihat tegangan terbesar terjadi pada bagian perpanjangan lengan, pola aliran yang terjadi pada bagian *elbow* dan perpanjangan lengan adalah jenis aliran turbulen.



Gambar 4.47. Perbandingan Tegangan dan Pola Aliran pada *Loop* Tipe L45°(6m)

Pada **Gambar 4.47** dapat dilihat bahwa tegangan terbesar terjadi pada bagian *elbow* hingga setengah perpanjangan lengan, pola aliran yang terjadi merupakan jenis aliran turbulen ketika aliran menyentuh *elbow*.



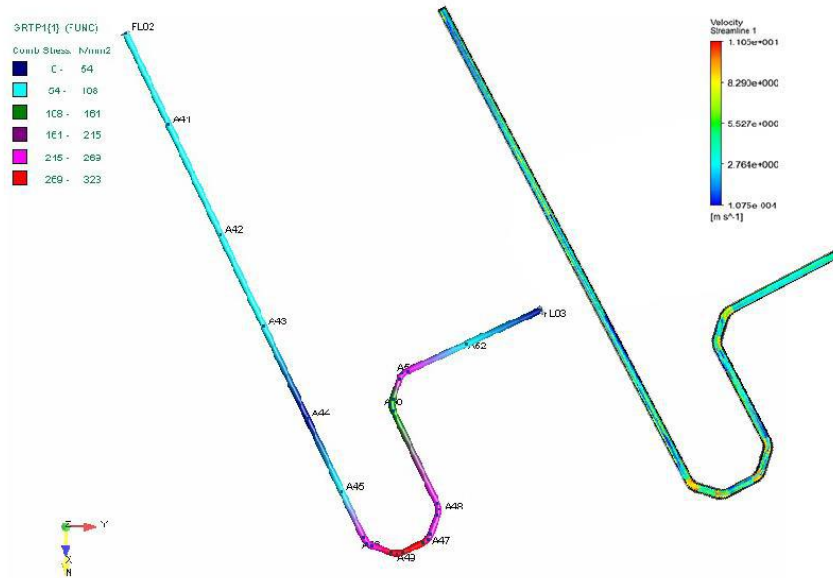
Gambar 4.48. Perbandingan Tegangan dan Pola Aliran pada *Loop* Tipe U 90°

Pada **Gambar 4.48** dapat tegangan terbesar terjadi pada *elbow* pertama hingga *elbow* ketiga, untuk pola aliran yang terjadi adalah turbulen dengan kecepatan tertinggi berada pada bagian *elbow*.



Gambar 4.49. Perbandingan Tegangan dan Pola Aliran pada *Loop* Tipe U 45°
(0,5 m)

Pada **Gambar 4.49** dapat dilihat bahwa tegangan terbesar terjadi pada lebar *loop*, pola aliran yang terjadi ketika menghantam bagian *elbow* mulai turbulen dengan kecepatan tertinggi pada masing-masing *elbow*.



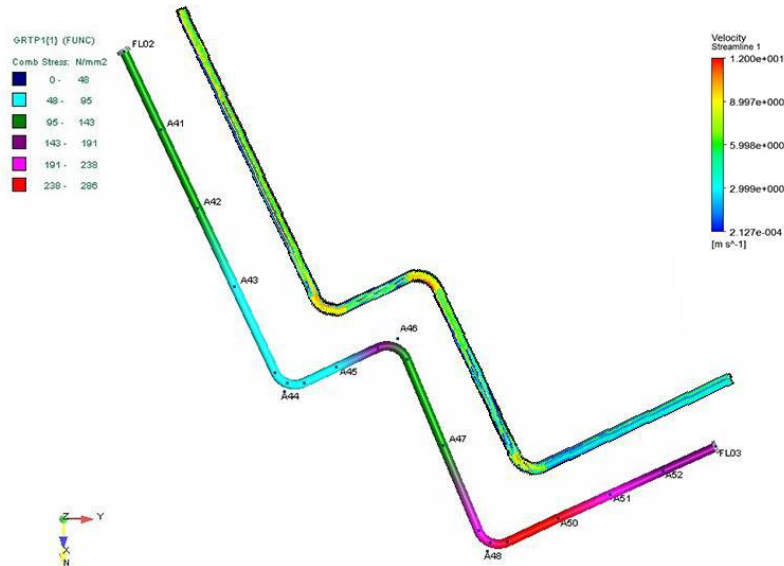
Gambar 4.50. Perbandingan Tegangan dan Pola Aliran pada *Loop* Tipe U 45°
(1,0 m)

Pada **Gambar 4.50** dapat dilihat tegangan terbesar tetap berada pada lebarnya *expansion loop*, pola aliran adalah jenis turbulen pada bagian *elbow*.



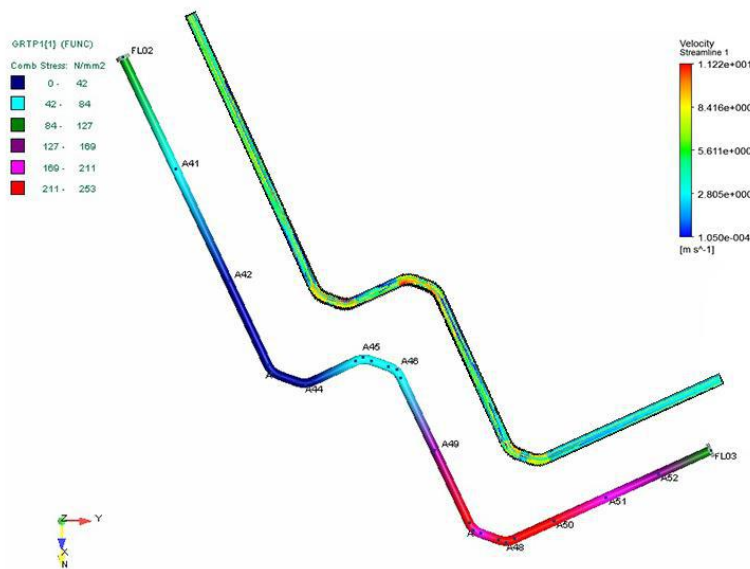
Gambar 4.51. Perbandingan Tegangan dan Pola Aliran pada *Loop* Tipe U 45°
(1,5 m)

Pada **Gambar 4.51** dapat dilihat tegangan terbesar berada pada bagian ujung lebar *expansion loop*, pola aliran adalah jenis turbulen dengan kecepatan maksimum berada pada masing-masing *elbow*.



Gambar 4.52. Perbandingan Tegangan dan Pola Aliran pada *Loop* Tipe Z 90°

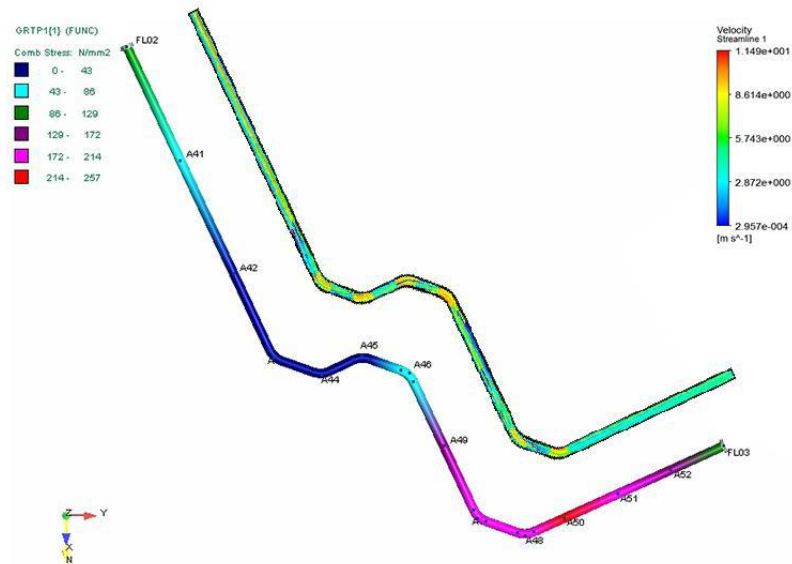
Pada **Gambar 4.52** dapat dilihat tegangan terbesar berada pada pipa sebelum *elbow*, pola aliran adalah jenis turbulen ketika aliran mendekati *elbow* dengan kecepatan maksimum berada pada bagian *elbow*.



Gambar 4.53. Perbandingan Tegangan dan Pola Aliran pada *Loop* Tipe Z 45°

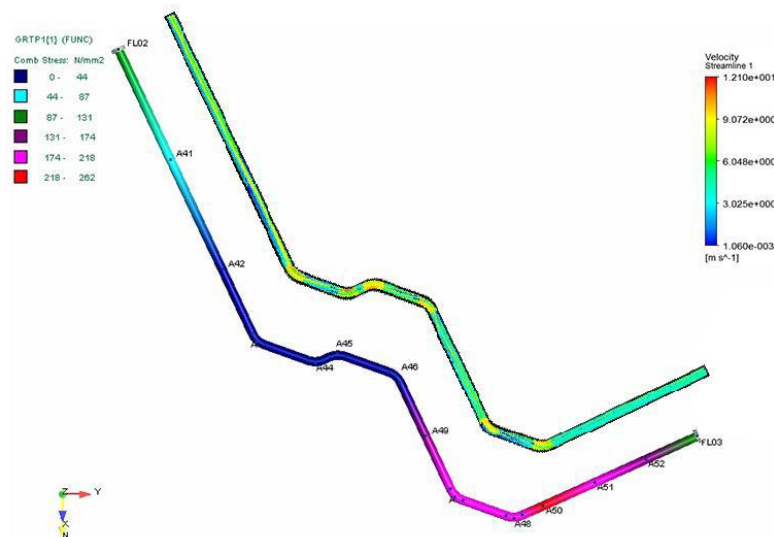
(0,5 m)

Pada **Gambar 4.53** dapat dilihat tegangan terbesar berada pada pipa sebelum dan sesudah *elbow* pertama, jenis pola aliran adalah turbulen ketika aliran mendekati *elbow* keempat dengan kecepatan maksimum berada pada *elbow*.



Gambar 4.54. Perbandingan Tegangan dan Pola Aliran pada *Loop* Tipe Z 45°
(1,0 m)

Pada **Gambar 4.54** dapat dapat dilihat tegangan terbesar berada pada pipa sebelum *elbow* pertama, jenis pola aliran adalah turbulen ketika aliran mendekati *elbow* dengan kecepatan maksimum pada masing-masing *elbow*.



Gambar 4.55. Perbandingan Tegangan dan Pola Aliran pada *Loop* Tipe Z 45°
(1,5 m)

Pada **Gambar 4.55** dapat dilihat tegangan terbesar berada pada pipa sebelum *elbow* pertama, jenis pola aliran adalah turbulen ketika aliran mendekati *elbow* dengan kecepatan maksimum berada pada bagian *elbow*.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Pola aliran yang terbentuk pada masing-masing tipe adalah jenis aliran turbulen, dengan pergerakan aliran yang sama yakni ketika fluida masuk dari inlet streamline namun ketika menghantam *elbow* jenis aliran berubah menjadi turbulen.
2. Kecepatan aliran pada masing-masing tipe berbeda-beda, namun dengan karakteristik yang sama yakni kecepatan fluida akan lebih besar ketika fluida menabrak *elbow*.
3. Defleksi yang terjadi pada masing-masing tipe *loop* cukup beragam, pada Tipe L, U, Z defleksi maksimum yang terjadi secara berurutan sebesar 3.367 mm, 17.077 mm, dan 13,169 mm.
4. Tegangan yang terjadi bermacam-macam pada setiap tipe *loop*. Namun, besar tegangan maksimum yang terjadi masih di bawah Allowable Stress yang diijinkan oleh ASME B31.3 yakni 90%SMYS atau sekitar 405 N/mm² sehingga dapat dikatakan sistem perpipaan masih dalam batas aman.

5.2 Saran

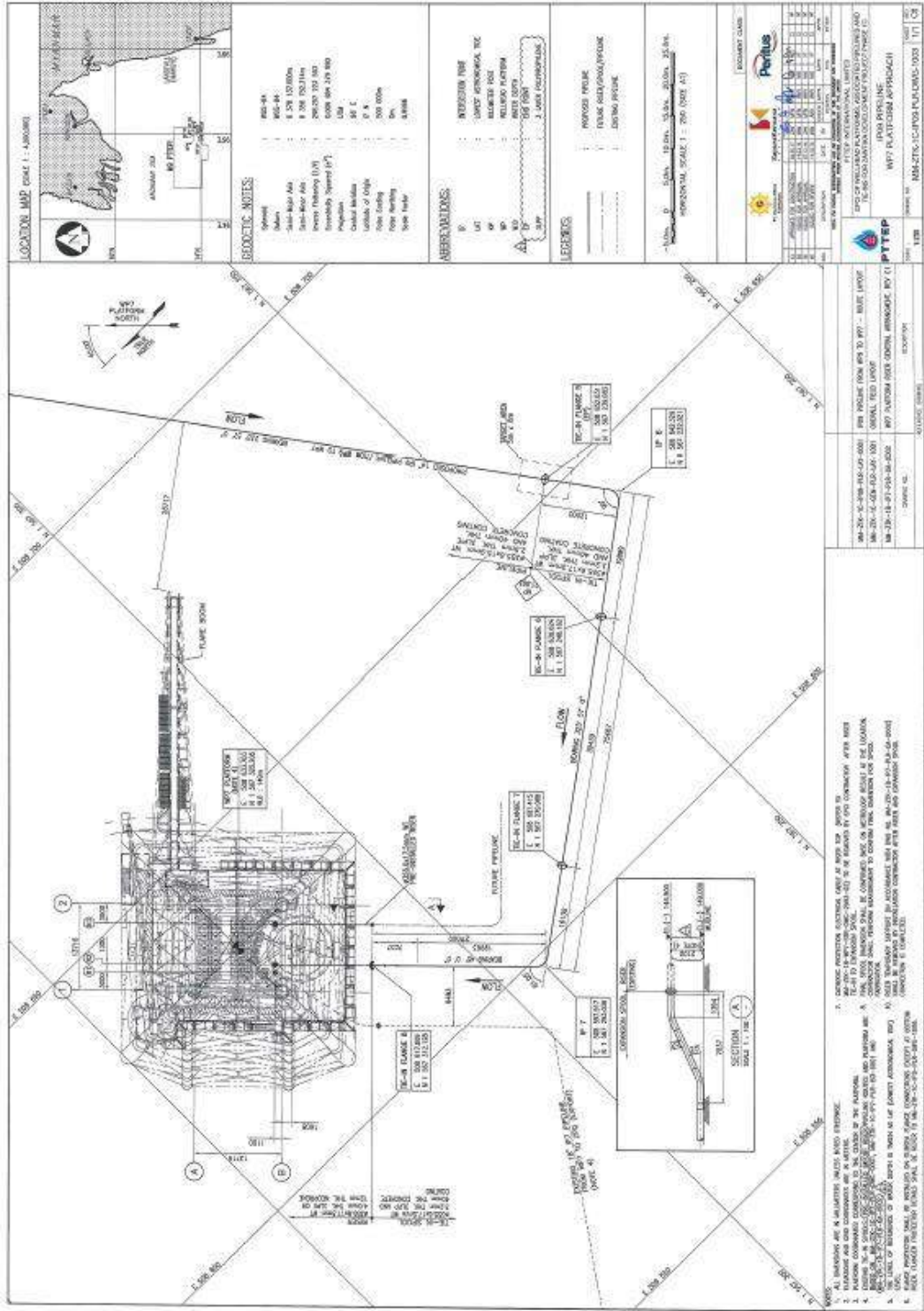
1. Variasi OD dan *thickness* perlu dilakukan supaya dapat mengetahui hubungan antara dimensi pipa dengan pola aliran.
2. Diperlukan penelitian lebih lanjut mengenai sumber-sumber yang dapat menambah atau mengurangi besarnya tegangan pipa yang terjadi ketika operasi.
3. Gesekan antara fluida dengan dinding pipa perlu diperhitungkan karena dapat mengurangi kecepatan aliran fluida yang mengalir di dalamnya.
4. Kecepatan fluida yang tinggi dapat menyebabkan erosi pada bagian loop atau elbow sehingga diperlukan analisa lebih lanjut mengenai erosi internal pipa.

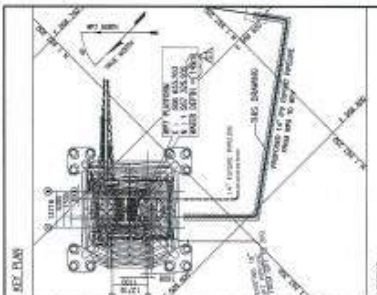
(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

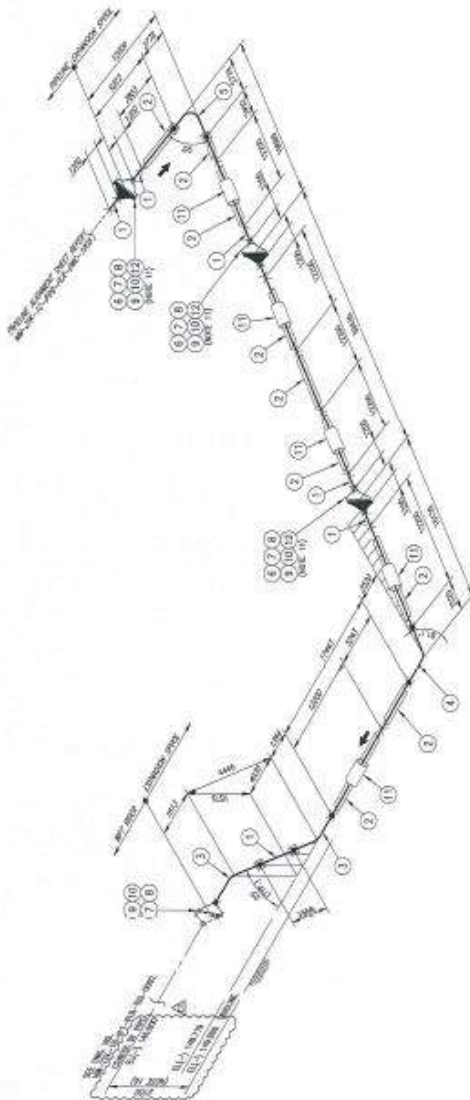
- Abizar, R. M. 2008. "Perencanaan Pipa dan *Expansion Spool* pada Pipa Penyalur SPM". Tugas Akhir. Jurusan Teknik Kelautan. ITB. Bandung.
- Antaki, A.G. 2003. "*Piping and Pipeline Engineering Design, Constuction, Maintenance, Integrity, and Repair*". USA.
- American Petroleum Institute 5L (API 5L) Fourty-Fourth Edition. "*Specification for Line Pipe*". USA. 2007.
- American Society of Mechanical Engineering (ASME) B31.3. "*Process Piping*". USA. 2003.
- American Society of Mechanical Engineering (ASME) B31.8. "*Gas Transmission and Distribution Piping Systems*". USA. 2003.
- Aulia, N. P. 2014. "Analisa Mekanisme Upheaval Buckling pada Pipa Offshore Pipeline Studi Kasus: PT. Universal Batam Energy (PT. UBE) dengan Variabel Tanah, Temperatur, dan Tekanan". Tugas Akhir. Jurusan Teknik Kelautan. ITS. Surabaya.
- Berliner, Y. I. 1974. "*Expansion Loop Pieces*". Plenum Journal No. 7, p.32.
- Det Norske Veritas (DNV). "*Rules for Submarine Pipeline Systems*". French. 1981.
- Dhani. 2009. "Perlindungan Pipa Bawah Laut". Departement of Ocean Engineering. http://www.wordpress.com/zona_dhani.
- DOE, The Department of Energy. 1996. "*Fundamental Handbook of Fluid Flow*". EG & G Idaho, Inc., USA.
- Hariono. 2014. "Analisa Pemasangan Loop Ekspansi Akibat Terjadinya *Upheaval Buckling* pada *Onshore Pipeline*". Tugas Akhir. Jurusan Teknik Kelautan. ITS. Surabaya.
- Harja, I. S. 2015. "Analisa *Lateral Buckling* Akibat Ekspansi Termal yang Menyebabkan *Pipeline Walking*". Tugas Akhir. Jurusan Teknik Kelautan. ITS. Surabaya.
- Kodoatie, R. J. 2002. "Hidrolika Terapan : Aliran pada Saluran Terbuka dan Pipa". Yogyakarta : Andi.
- Munson, Bruce R., Donald F.Y. Theodore H.O., 2002. *Fundamentals of Fluid Mechanics*, Fourth Edition. John Wiley & Sons, Inc., USA.
- Kellog, M. W Company. 1956. "*Design of Piping Systems*". USA : Wiley.

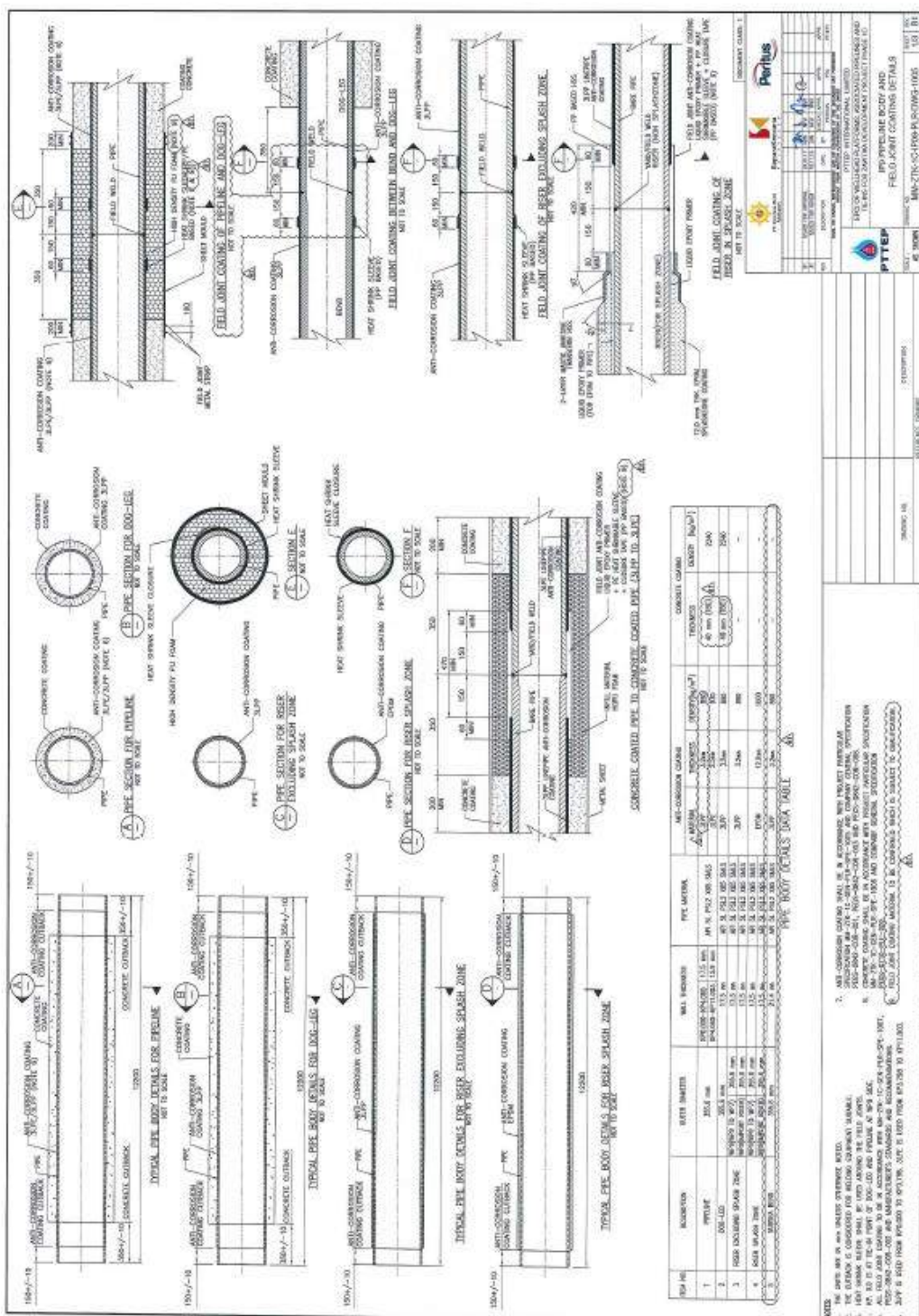
- Negara, A. 2009. "Analisa Ketebalan Pipa Bawah Laut dan Resiko Akibat Kejatuhan Jangkar Kapal : Studi Kasus Pipa Ujung Pngkah". Jurusan Teknik Kelautan. ITS. Surabaya.
- Palmer, A. C. 1990. "*Design of Submarine Pipelines Against Upheaval Buckling*". Offshore Technology Conference. Texas.
- Popov, E.P, Zainal Astamar. 1996. "Mekanika Teknik", edisi kedua. Erlangga : Jakarta.
- Prayoga, F. S. 2011. "Studi Pengaruh Temperatur, Tekanan Internal, dan Kedalaman Tanah Terhadap Mekanisme *Upheaval Buckling* pada *Onshore Pipeline*". Tugas Akhir. Jurusan Teknik Kelautan. ITS. Surabaya.
- Rahman, F. F. 2012. "Analisa Penyebab Terjadinya *Upheaval Buckling* pada *Pipeline 16"* dan *Corrective Action*". Tugas Akhir. Jurusan Teknik Kelautan. ITS. Surabaya.
- Ramadhan, F. R. A. 2015. "Analisa *Upheaval Buckling* pada *Subsea Gas Pipeline* dengan Kondisi *Buried*". Tugas Akhir. Jurusan Teknik Kelautan. ITS. Surabaya.
- Setiawan, Arief. 2003. Laporan Penelitian "Aplikasi Metode Interaksi Newton-Raphson dalam Peramalan Kinerja Aliran Fluida Dua Fasa pada Sistem Pipa Transportasi". Jurusan Teknik Perminyakan FIKTM-ITB. Bandung.
- Soegiono. 2007. "Pipa Laut". Surabaya : Airlangga University Press.
- Thermacor. 2002. "*Expansion Calculations and Loop Sizing*". TDC 16. 103.



[illegible][illegible]

24531

[illegible]



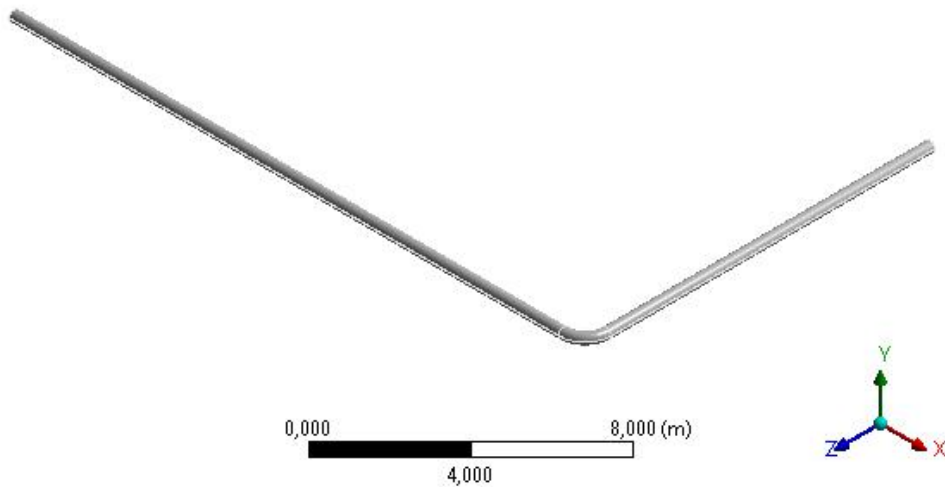
- [illegible]

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



Project

First Saved	Saturday, December 02, 2017
Last Saved	Wednesday, January 03, 2018
Product Version	16.0 Release
Save Project Before Solution	No
Save Project After Solution	No



Units

TABLE 1

Unit System	Metric (m, kg, N, s, V, A) Degrees rad/s Celsius
Angle	Degrees
Rotational Velocity	rad/s
Temperature	Celsius

Geometry

TABLE 2 Model (B4) > Geometry

Object Name	Geometry
State	Fully Defined
Definition	
Source	D:\4314100042 - TA AZZAM\ANSYS\LT TYPE\L90_files\dp0\FFF\DM\FFF.agdb
Type	DesignModeler
Length Unit	Meters
Element Control	Program Controlled
Display Style	Body Color
Bounding Box	
Length X	20,067 m
Length Y	0,3556 m
Length Z	12,178 m
Properties	
Volume	0,58682 m ³

Mass	4606,5 kg
Scale Factor Value	1,
Statistics	
Bodies	2
Active Bodies	1
Nodes	153502
Elements	21896
Mesh Metric	None
Basic Geometry Options	
Parameters	Yes
Parameter Key	DS
Attributes	No
Named Selections	No
Material Properties	No
Advanced Geometry Options	
Use Associativity	Yes
Coordinate Systems	No
Reader Mode Saves Updated File	No
Use Instances	Yes
Smart CAD Update	No
Compare Parts On Update	No
Attach File Via Temp File	Yes
Temporary Directory	C:\Users\RWP2\AppData\Local\Temp
Analysis Type	3-D
Decompose Disjoint Geometry	Yes
Enclosure and Symmetry Processing	Yes

TABLE 3 Model (B4) > Geometry > Parts

Object Name	<i>Solid</i>	<i>Fluid</i>
State	Meshed	Suppressed
Graphics Properties		
Visible	Yes	No
Glow	0	
Shininess	1	
Transparency	1	
Specularity	1	
Definition		
Suppressed	No	Yes
ID (Beta)	16	245
Stiffness Behavior	Flexible	
Coordinate System	Default Coordinate System	
Reference Temperature	By Environment	
Material		
Assignment	Structural Steel	
Nonlinear Effects	Yes	
Thermal Strain Effects	Yes	
Bounding Box		

Length X	20,067 m	20,049 m
Length Y	0,3556 m	0,3206 m
Length Z	12,178 m	12,16 m
Properties		
Volume	0,58682 m ³	2,5485 m ³
Mass	4606,5 kg	
Centroid X	-6,2664 m	-6,2675 m
Centroid Y	3,5586e-005 m	2,1821e-005 m
Centroid Z	9,7162 m	9,7178 m
Moment of Inertia Ip1	34111 kg·m ²	
Moment of Inertia Ip2	2,6068e+005 kg·m ²	
Moment of Inertia Ip3	2,267e+005 kg·m ²	
Statistics		
Nodes	153502	0
Elements	21896	0
Mesh Metric	None	

Coordinate Systems

TABLE 4 Model (B4) > Coordinate Systems > Coordinate System

TABLE 1: Model (B1) - Coordinate Systems - Coordinate System		
Object Name	Global Coordinate System	Coordinate System
State	Fully Defined	
Definition		
Type	Cartesian	
Coordinate System ID	0,	
Coordinate System		Program Controlled
Suppressed		No
Origin		
Origin X	0, m	-0,26042 m
Origin Y	0, m	0,11286 m
Origin Z	0, m	11,74 m
Define By		Geometry Selection
Geometry		Defined
Directional Vectors		
X Axis Data	[1, 0, 0,]	
Y Axis Data	[0, 1, 0,]	
Z Axis Data	[0, 0, 1,]	
Principal Axis		
Axis		X
Define By		Global X Axis
Orientation About Principal Axis		
Axis		Y
Define By		Default
Transformations		
Base Configuration		Absolute
Transformed Configuration		[-0,26042 0,11286 11,74]

Mesh

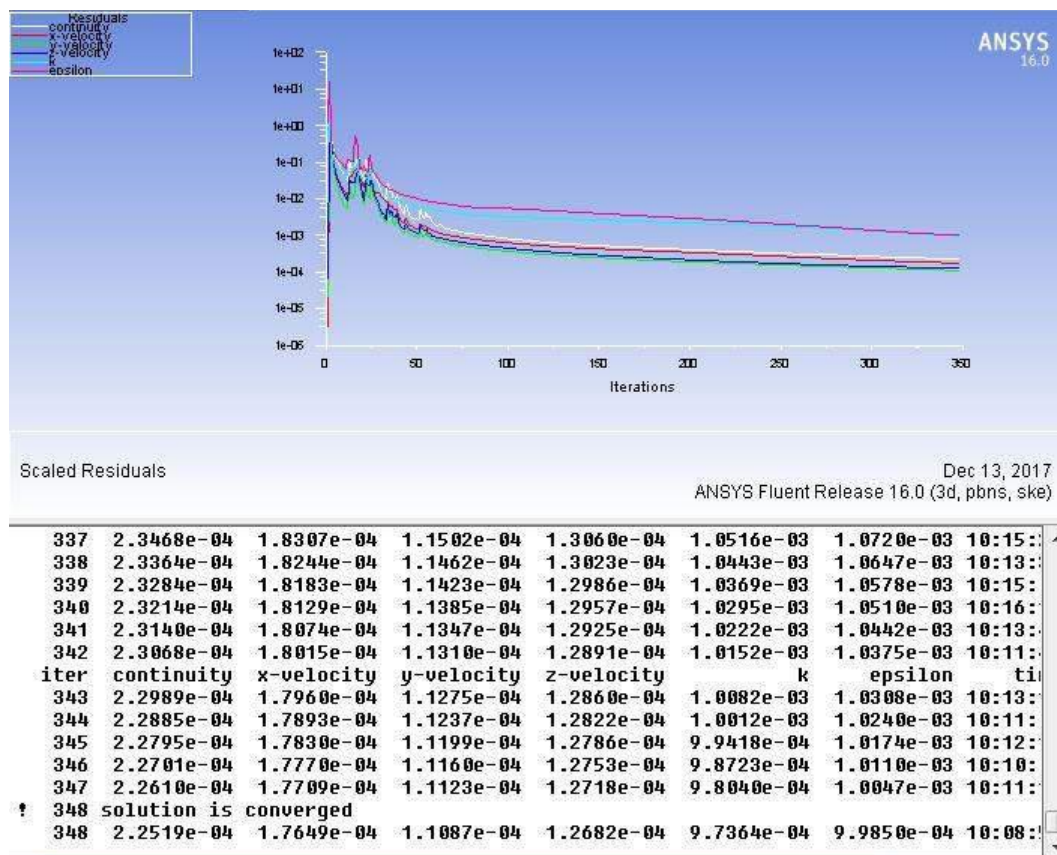
TABLE 5 Model (B4) > Mesh

Object Name	<i>Mesh</i>
State	Solved
Display	
Display Style	Body Color
Defaults	
Physics Preference	Mechanical
Relevance	0
Sizing	
Use Advanced Size Function	Off
Relevance Center	Coarse
Element Size	Default
Initial Size Seed	Active Assembly
Smoothing	Medium
Transition	Fast
Span Angle Center	Coarse
Minimum Edge Length	0,50360 m
Inflation	
Use Automatic Inflation	None
Inflation Option	Smooth Transition
Transition Ratio	0,272
Maximum Layers	5
Growth Rate	1,2
Inflation Algorithm	Pre
View Advanced Options	No
Patch Conforming Options	
Triangle Surface Mesher	Program Controlled
Patch Independent Options	
Topology Checking	No
Advanced	
Number of CPUs for Parallel Part Meshing	Program Controlled
Shape Checking	Standard Mechanical
Element Midside Nodes	Program Controlled
Straight Sided Elements	No
Number of Retries	Default (4)
Extra Retries For Assembly	Yes
Rigid Body Behavior	Dimensionally Reduced
Mesh Morphing	Disabled
Defeaturing	
Pinch Tolerance	Please Define
Generate Pinch on Refresh	No
Automatic Mesh Based Defeaturing	On
Defeaturing Tolerance	Default
Statistics	
Nodes	153502
Elements	21896
Mesh Metric	None

TABLE 6 Model (B4) > Mesh > Mesh Controls

Object Name	Body Sizing	Body Sizing 2
State	Fully Defined	
Scope		
Scoping Method	Geometry Selection	
Geometry	1 Body	
Definition		
Suppressed	No	
Type	Element Size	Sphere of Influence
Element Size	0,1 m	2,e-002 m
Behavior	Soft	
Sphere Center		Coordinate System
Sphere Radius		2,5 m

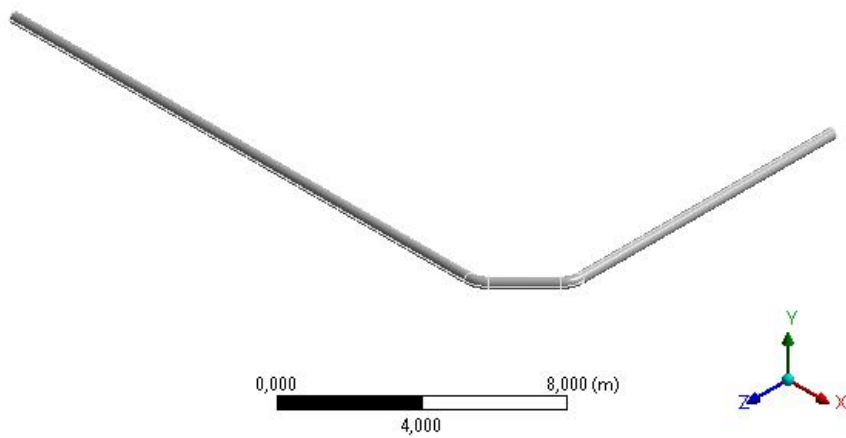
RUNNING CONVERGENCES





Project

First Saved	Monday, December 04, 2017
Last Saved	Tuesday, December 12, 2017
Product Version	16.0 Release
Save Project Before Solution	No
Save Project After Solution	No



Units

TABLE 1

Unit System	Metric (m, kg, N, s, V, A) Degrees rad/s Celsius
Angle	Degrees
Rotational Velocity	rad/s
Temperature	Celsius

Geometry

TABLE 2 Model (D4) > Geometry

Object Name	Geometry
State	Fully Defined
Definition	
Source	D:\4314100042 - TA AZZAM\ANSYS\LTYPE\L90_files\dp0\FFF-1\DM\FFF-1.agdb
Type	DesignModeler
Length Unit	Meters
Element Control	Program Controlled
Display Style	Body Color
Bounding Box	
Length X	20,067 m
Length Y	0,3556 m
Length Z	12,178 m
Properties	
Volume	0,57142 m ³

Mass	4485,7 kg
Scale Factor Value	1,
Statistics	
Bodies	2
Active Bodies	1
Nodes	139422
Elements	20237
Mesh Metric	None
Basic Geometry Options	
Parameters	Yes
Parameter Key	DS
Attributes	No
Named Selections	No
Material Properties	No
Advanced Geometry Options	
Use Associativity	Yes
Coordinate Systems	No
Reader Mode Saves Updated File	No
Use Instances	Yes
Smart CAD Update	No
Compare Parts On Update	No
Attach File Via Temp File	Yes
Temporary Directory	C:\Users\RWP2\AppData\Local\Temp
Analysis Type	3-D
Decompose Disjoint Geometry	Yes
Enclosure and Symmetry Processing	Yes

TABLE 3 Model (D4) > Geometry > Parts

Object Name	<i>Solid</i>	<i>Fluid</i>
State	Meshed	Suppressed
Graphics Properties		
Visible	Yes	No
Glow	0	
Shininess	1	
Transparency	1	
Specularity	1	
Definition		
Suppressed	No	Yes
ID (Beta)	16	19
Stiffness Behavior	Flexible	
Coordinate System	Default Coordinate System	
Reference Temperature	By Environment	
Material		
Assignment	Structural Steel	
Nonlinear Effects	Yes	
Thermal Strain Effects	Yes	
Bounding Box		
Length X	20,067 m	20,049 m

Length Y	0,3556 m	0,3206 m
Length Z	12,178 m	12,16 m
Properties		
Volume	0,57142 m³	2,4816 m³
Mass	4485,7 kg	
Centroid X	13,433 m	
Centroid Y	2,5944e-005 m	1,4806e-005 m
Centroid Z	-2,3634 m	-2,3639 m
Moment of Inertia Ip1	30850 kg·m²	
Moment of Inertia Ip2	2,538e+005 kg·m²	
Moment of Inertia Ip3	2,2307e+005 kg·m²	
Statistics		
Nodes	139422	0
Elements	20237	0
Mesh Metric	None	

Coordinate Systems

TABLE 4 Model (D4) > Coordinate Systems > Coordinate System

Object Name	Global Coordinate System	Coordinate System	Coordinate System 2
State	Fully Defined		
Definition			
Type	Cartesian		
Coordinate System ID	0,		
Coordinate System		Program Controlled	
Suppressed		No	
Origin			
Origin X	0, m	18,012 m	19,832 m
Origin Y	0, m	0,11283 m	0,11282 m
Origin Z	0, m	-5,6834e-002 m	-1,8771 m
Define By		Geometry Selection	
Geometry		Defined	
Directional Vectors			
X Axis Data	[1, 0, 0,]		
Y Axis Data	[0, 1, 0,]		
Z Axis Data	[0, 0, 1,]		
Principal Axis			
Axis		X	
Define By		Global X Axis	
Orientation About Principal Axis			
Axis		Y	
Define By		Default	
Transformations			
Base Configuration		Absolute	
Transformed Configuration		[18,012 0,11283 - 5,6834e-002]	[19,832 0,11282 - 1,8771]

Mesh

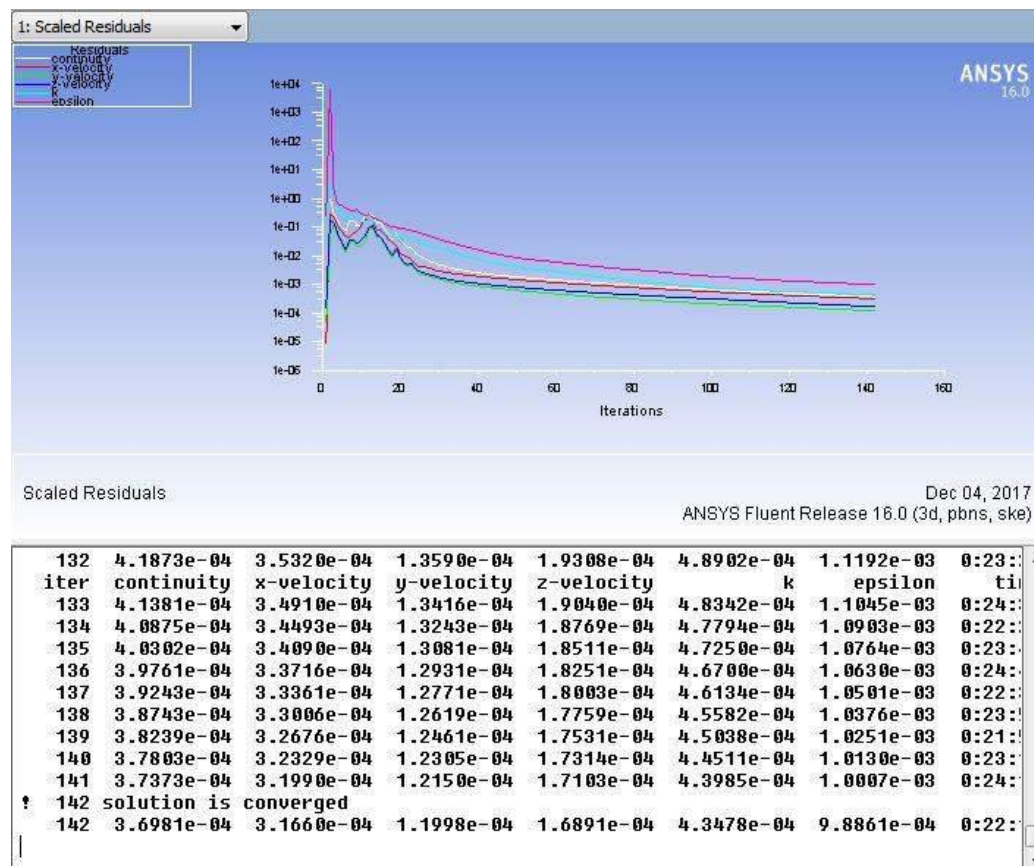
TABLE 5 Model (D4) > Mesh

Object Name	<i>Mesh</i>
State	Solved
Display	
Display Style	Body Color
Defaults	
Physics Preference	Mechanical
Relevance	0
Sizing	
Use Advanced Size Function	Off
Relevance Center	Coarse
Element Size	Default
Initial Size Seed	Active Assembly
Smoothing	Medium
Transition	Fast
Span Angle Center	Coarse
Minimum Edge Length	0,25180 m
Inflation	
Use Automatic Inflation	None
Inflation Option	Smooth Transition
Transition Ratio	0,272
Maximum Layers	5
Growth Rate	1,2
Inflation Algorithm	Pre
View Advanced Options	No
Patch Conforming Options	
Triangle Surface Mesher	Program Controlled
Patch Independent Options	
Topology Checking	No
Advanced	
Number of CPUs for Parallel Part Meshing	Program Controlled
Shape Checking	Standard Mechanical
Element Midside Nodes	Program Controlled
Straight Sided Elements	No
Number of Retries	Default (4)
Extra Retries For Assembly	Yes
Rigid Body Behavior	Dimensionally Reduced
Mesh Morphing	Disabled
Defeaturing	
Pinch Tolerance	Please Define
Generate Pinch on Refresh	No
Automatic Mesh Based Defeaturing	On
Defeaturing Tolerance	Default
Statistics	
Nodes	139422
Elements	20237
Mesh Metric	None

TABLE 6 Model (D4) > Mesh > Mesh Controls

Object Name	Body Sizing	Body Sizing 2	Body Sizing 3
State	Fully Defined		
Scope			
Scoping Method	Geometry Selection		
Geometry	1 Body		
Definition			
Suppressed	No		
Type	Element Size	Sphere of Influence	
Element Size	0,1 m	2,e-002 m	
Behavior	Soft		
Sphere Center		Coordinate System	Coordinate System 2
Sphere Radius		0,8 m	

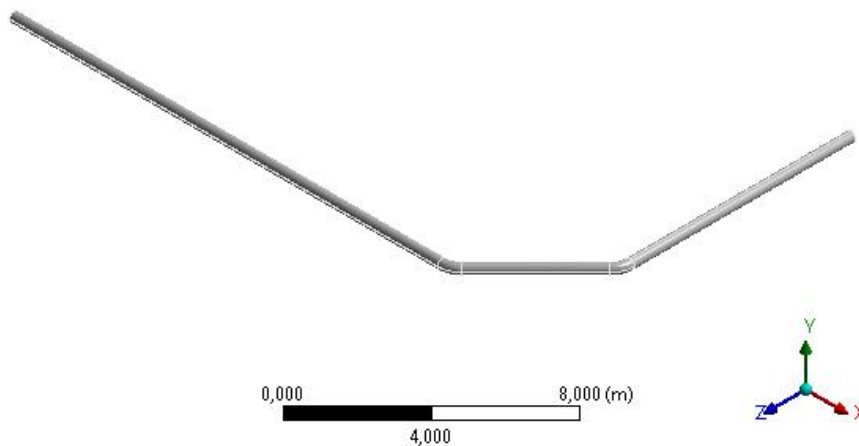
RUNNING CONVERGENCES





Project

First Saved	Monday, December 04, 2017
Last Saved	Monday, December 04, 2017
Product Version	16.0 Release
Save Project Before Solution	No
Save Project After Solution	No



Units

TABLE 1

Unit System	Metric (m, kg, N, s, V, A) Degrees rad/s Celsius
Angle	Degrees
Rotational Velocity	rad/s
Temperature	Celsius

Geometry

TABLE 2 Model (F4) > Geometry

Object Name	Geometry
State	Fully Defined
Definition	
Source	D:\4314100042 - TA AZZAM\ANSYS\LTYPE\L90_files\dp0\FFF-2\DM\FFF-2.agdb
Type	DesignModeler
Length Unit	Meters
Element Control	Program Controlled
Display Style	Body Color
Bounding Box	
Length X	20,067 m
Length Y	0,3556 m
Length Z	12,178 m
Properties	

Volume	0,55602 m ³
Mass	4364,8 kg
Scale Factor Value	1,
Statistics	
Bodies	2
Active Bodies	1
Nodes	133151
Elements	18988
Mesh Metric	None
Basic Geometry Options	
Parameters	Yes
Parameter Key	DS
Attributes	No
Named Selections	No
Material Properties	No
Advanced Geometry Options	
Use Associativity	Yes
Coordinate Systems	No
Reader Mode Saves Updated File	No
Use Instances	Yes
Smart CAD Update	No
Compare Parts On Update	No
Attach File Via Temp File	Yes
Temporary Directory	C:\Users\RWP2\AppData\Local\Temp
Analysis Type	3-D
Decompose Disjoint Geometry	Yes
Enclosure and Symmetry Processing	Yes

TABLE 3 Model (F4) > Geometry > Parts

Object Name	<i>Solid</i>	<i>Fluid</i>
State	Meshed	Suppressed
Graphics Properties		
Visible	Yes	No
Glow	0	
Shininess	1	
Transparency	1	
Specularity	1	
Definition		
Suppressed	No	Yes
ID (Beta)	16	19
Stiffness Behavior	Flexible	
Coordinate System	Default Coordinate System	
Reference Temperature	By Environment	
Material		
Assignment	Methane	
Nonlinear Effects	Yes	
Thermal Strain Effects	Yes	

Bounding Box		
Length X	20,067 m	20,049 m
Length Y	0,3556 m	0,3206 m
Length Z	12,178 m	12,16 m
Properties		
Volume	0,55602 m ³	2,4147 m ³
Mass	4364,8 kg	
Centroid X	13,208 m	13,205 m
Centroid Y	4,9772e-005 m	1,487e-005 m
Centroid Z	-2,4789 m	-2,4777 m
Moment of Inertia Ip1	26659 kg·m ²	
Moment of Inertia Ip2	2,4526e+005 kg·m ²	
Moment of Inertia Ip3	2,1872e+005 kg·m ²	
Statistics		
Nodes	133151	0
Elements	18988	0
Mesh Metric	None	

Coordinate Systems

TABLE 4 Model (F4) > Coordinate Systems > Coordinate System

Object Name	Global Coordinate System	Coordinate System	Coordinate System 2
State	Fully Defined		
Definition			
Type	Cartesian		
Coordinate System ID	0,		
Coordinate System		Program Controlled	
Suppressed		No	
Origin			
Origin X	0, m	16,598 m	19,832 m
Origin Y	0, m	0,11291 m	0,11292 m
Origin Z	0, m	-5,6922e-002 m	-3,2913 m
Define By		Geometry Selection	
Geometry		Defined	
Directional Vectors			
X Axis Data	[1, 0, 0,]		
Y Axis Data	[0, 1, 0,]		
Z Axis Data	[0, 0, 1,]		
Principal Axis			
Axis		X	
Define By		Global X Axis	
Orientation About Principal Axis			
Axis		Y	
Define By		Default	
Transformations			
Base Configuration		Absolute	
Transformed Configuration		[16,598 0,11291 - 5,6922e-002]	[19,832 0,11292 - 3,2913]

Mesh

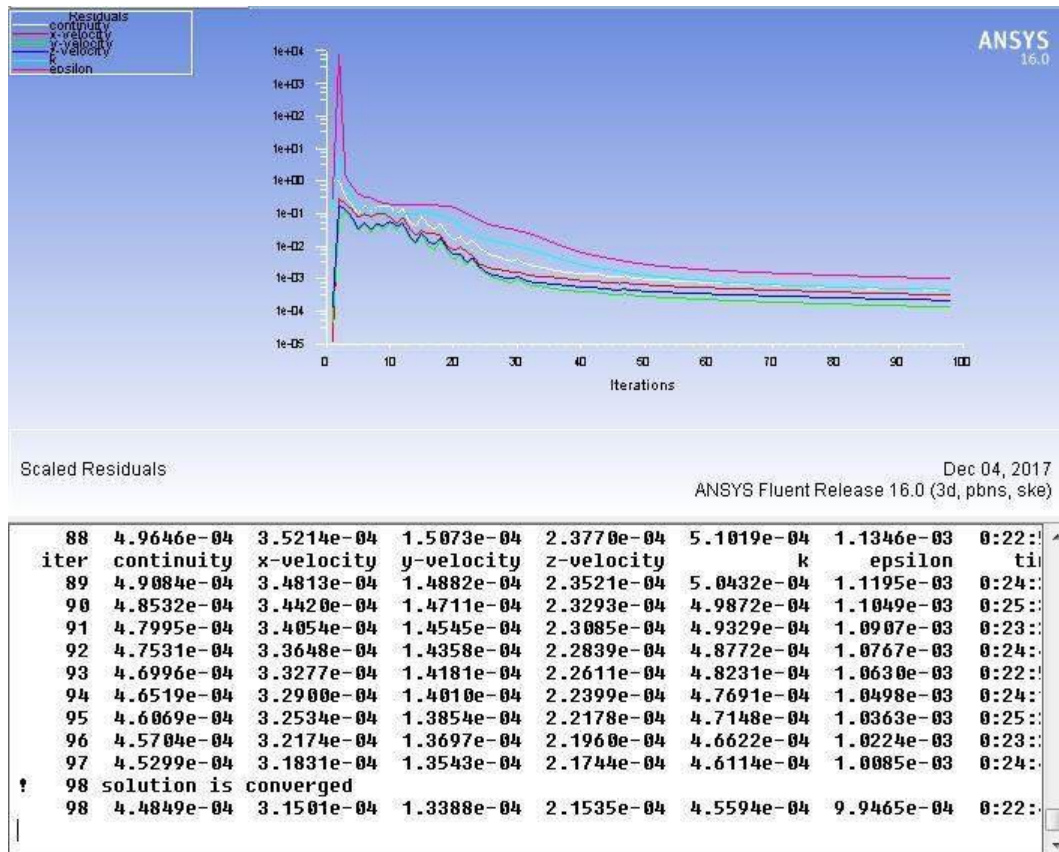
TABLE 5 Model (F4) > Mesh

Object Name	Mesh
State	Solved
Display	
Display Style	Body Color
Defaults	
Physics Preference	Mechanical
Relevance	0
Sizing	
Use Advanced Size Function	Off
Relevance Center	Coarse
Element Size	Default
Initial Size Seed	Active Assembly
Smoothing	Medium
Transition	Fast
Span Angle Center	Coarse
Minimum Edge Length	0,25180 m
Inflation	
Use Automatic Inflation	None
Inflation Option	Smooth Transition
Transition Ratio	0,272
Maximum Layers	5
Growth Rate	1,2
Inflation Algorithm	Pre
View Advanced Options	No
Patch Conforming Options	
Triangle Surface Mesher	Program Controlled
Patch Independent Options	
Topology Checking	No
Advanced	
Number of CPUs for Parallel Part Meshing	Program Controlled
Shape Checking	Standard Mechanical
Element Midside Nodes	Program Controlled
Straight Sided Elements	No
Number of Retries	Default (4)
Extra Retries For Assembly	Yes
Rigid Body Behavior	Dimensionally Reduced
Mesh Morphing	Disabled
Defeaturing	
Pinch Tolerance	Please Define
Generate Pinch on Refresh	No
Automatic Mesh Based Defeaturing	On
Defeaturing Tolerance	Default
Statistics	
Nodes	133151
Elements	18988
Mesh Metric	None

TABLE 6 Model (F4) > Mesh > Mesh Controls

Object Name	Body Sizing	Body Sizing 2	Body Sizing 3
State	Fully Defined		
Scope			
Scoping Method	Geometry Selection		
Geometry	1 Body		
Definition			
Suppressed	No		
Type	Element Size	Sphere of Influence	
Element Size	0,1 m	2,e-002 m	
Behavior	Soft		
Sphere Center		Coordinate System	Coordinate System 2
Sphere Radius		0,8 m	

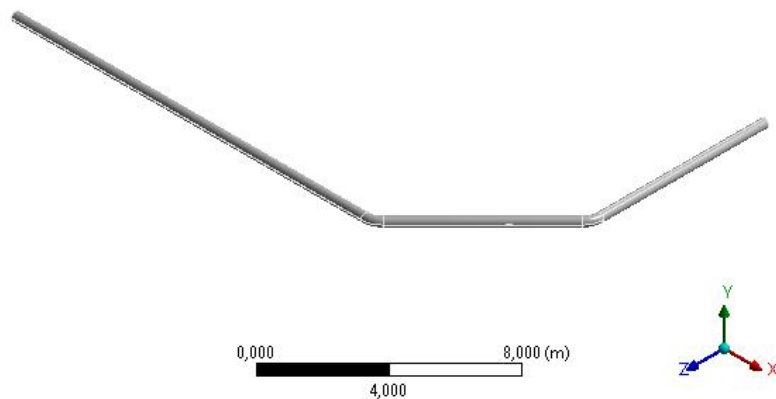
RUNNING CONVERGENCES





Project

First Saved	Monday, December 04, 2017
Last Saved	Tuesday, December 05, 2017
Product Version	16.0 Release
Save Project Before Solution	No
Save Project After Solution	No



Units

TABLE 1

Unit System	Metric (m, kg, N, s, V, A) Degrees rad/s Celsius
Angle	Degrees
Rotational Velocity	rad/s
Temperature	Celsius

Geometry

TABLE 2 Model (H4) > Geometry

Object Name	Geometry
State	Fully Defined
Definition	
Source	D:\4314100042 - TA AZZAM\ANSYS\LT TYPE\L90_files\dp0\FFF-3\DM\FFF-3.agdb
Type	DesignModeler
Length Unit	Meters
Element Control	Program Controlled
Display Style	Body Color
Bounding Box	
Length X	20,067 m
Length Y	0,3556 m
Length Z	12,178 m
Properties	
Volume	0,54062 m ³
Mass	4243,8 kg

Scale Factor Value	1,
Statistics	
Bodies	2
Active Bodies	1
Nodes	130190
Elements	18565
Mesh Metric	None
Basic Geometry Options	
Parameters	Yes
Parameter Key	DS
Attributes	No
Named Selections	No
Material Properties	No
Advanced Geometry Options	
Use Associativity	Yes
Coordinate Systems	No
Reader Mode Saves Updated File	No
Use Instances	Yes
Smart CAD Update	No
Compare Parts On Update	No
Attach File Via Temp File	Yes
Temporary Directory	C:\Users\RWP2\AppData\Local\Temp
Analysis Type	3-D
Decompose Disjoint Geometry	Yes
Enclosure and Symmetry Processing	Yes

TABLE 3 Model (H4) > Geometry > Parts

Object Name	<i>Solid</i>	<i>Fluid</i>
State	Meshed	Suppressed
Graphics Properties		
Visible	Yes	No
Glow	0	
Shininess	1	
Transparency	1	
Specularity	1	
Definition		
Suppressed	No	Yes
ID (Beta)	16	19
Stiffness Behavior	Flexible	
Coordinate System	Default Coordinate System	
Reference Temperature	By Environment	
Material		
Assignment	Structural Steel	
Nonlinear Effects	Yes	
Thermal Strain Effects	Yes	
Bounding Box		
Length X	20,067 m	20,049 m

Length Y	0,3556 m	0,3206 m
Length Z	12,178 m	12,16 m
Properties		
Volume	0,54062 m ³	2,3478 m ³
Mass	4243,8 kg	
Centroid X	12,942 m	12,936 m
Centroid Y	-1,5673e-004 m	1,6529e-005 m
Centroid Z	-2,6277 m	-2,6269 m
Moment of Inertia Ip1	22031 kg·m ²	
Moment of Inertia Ip2	2,354e+005 kg·m ²	
Moment of Inertia Ip3	2,1349e+005 kg·m ²	
Statistics		
Nodes	130190	0
Elements	18565	0
Mesh Metric	None	

Coordinate Systems

TABLE 4 Model (H4) > Coordinate Systems > Coordinate System

Object Name	Global Coordinate System	Coordinate System	Coordinate System 2
State	Fully Defined		
Definition			
Type	Cartesian		
Coordinate System ID	0,		
Coordinate System		Program Controlled	
Suppressed		No	
Origin			
Origin X	0, m	15,183 m	19,832 m
Origin Y	0, m	0,11282 m	0,11284 m
Origin Z	0, m	-5,6941e-002 m	-4,7056 m
Define By		Geometry Selection	
Geometry		Defined	
Directional Vectors			
X Axis Data	[1, 0, 0,]		
Y Axis Data	[0, 1, 0,]		
Z Axis Data	[0, 0, 1,]		
Principal Axis			
Axis		X	
Define By		Global X Axis	
Orientation About Principal Axis			
Axis		Y	
Define By		Default	
Transformations			
Base Configuration		Absolute	
Transformed Configuration		[15,183 0,11282 - 5,6941e-002]	[19,832 0,11284 - 4,7056]

Mesh

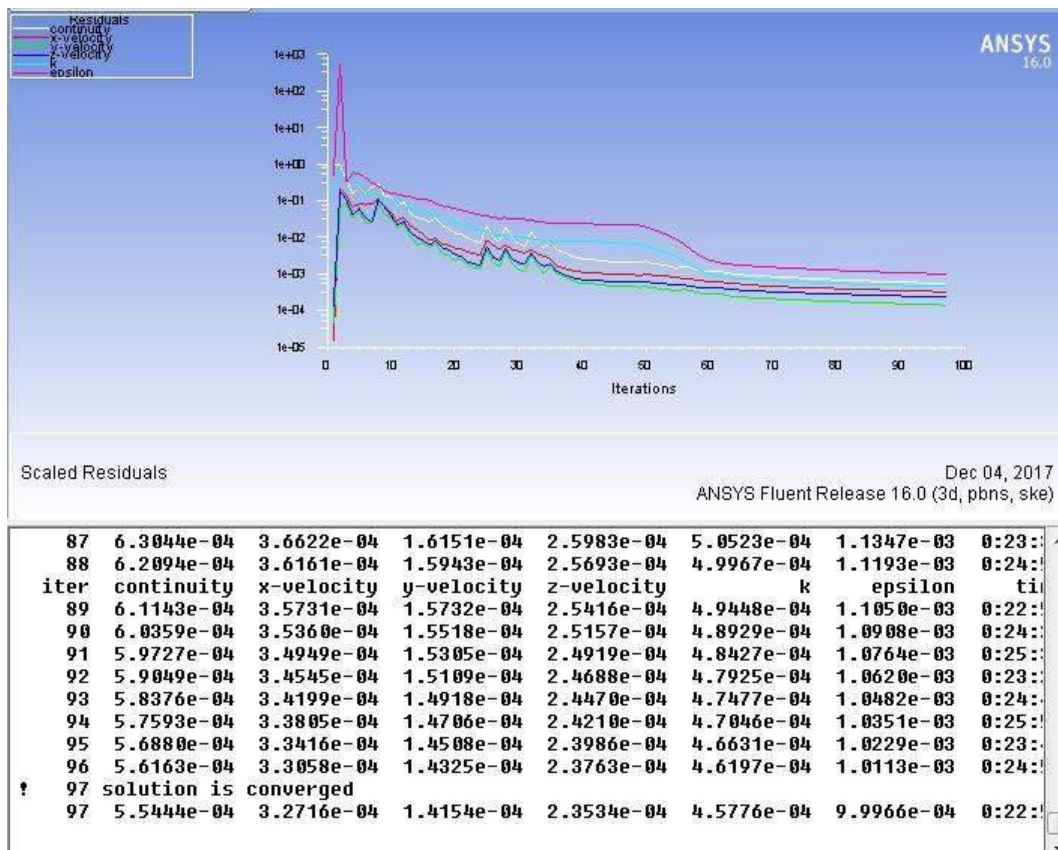
TABLE 5 Model (H4) > Mesh

Object Name	<i>Mesh</i>
State	Solved
Display	
Display Style	Body Color
Defaults	
Physics Preference	Mechanical
Relevance	0
Sizing	
Use Advanced Size Function	Off
Relevance Center	Coarse
Element Size	Default
Initial Size Seed	Active Assembly
Smoothing	Medium
Transition	Fast
Span Angle Center	Coarse
Minimum Edge Length	0,25180 m
Inflation	
Use Automatic Inflation	None
Inflation Option	Smooth Transition
Transition Ratio	0,272
Maximum Layers	5
Growth Rate	1,2
Inflation Algorithm	Pre
View Advanced Options	No
Patch Conforming Options	
Triangle Surface Mesher	Program Controlled
Patch Independent Options	
Topology Checking	No
Advanced	
Number of CPUs for Parallel Part Meshing	Program Controlled
Shape Checking	Standard Mechanical
Element Midside Nodes	Program Controlled
Straight Sided Elements	No
Number of Retries	Default (4)
Extra Retries For Assembly	Yes
Rigid Body Behavior	Dimensionally Reduced
Mesh Morphing	Disabled
Defeaturing	
Pinch Tolerance	Please Define
Generate Pinch on Refresh	No
Automatic Mesh Based Defeaturing	On
Defeaturing Tolerance	Default
Statistics	
Nodes	130190
Elements	18565
Mesh Metric	None

TABLE 6 Model (H4) > Mesh > Mesh Controls

Object Name	Body Sizing	Body Sizing 2	Body Sizing 3
State	Fully Defined		
Scope			
Scoping Method	Geometry Selection		
Geometry	1 Body		
Definition			
Suppressed	No		
Type	Element Size	Sphere of Influence	
Element Size	0,1 m	2,e-002 m	
Behavior	Soft		
Sphere Center		Coordinate System	Coordinate System 2
Sphere Radius		0,8 m	

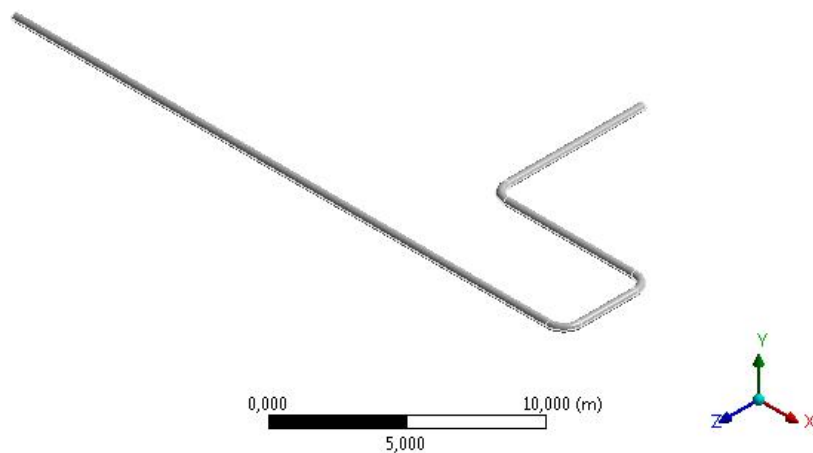
RUNNING CONVERGENCES





Project

First Saved	Saturday, December 02, 2017
Last Saved	Wednesday, December 06, 2017
Product Version	16.0 Release
Save Project Before Solution	No
Save Project After Solution	No



Units

TABLE 1

Unit System	Metric (m, kg, N, s, V, A) Degrees rad/s Celsius
Angle	Degrees
Rotational Velocity	rad/s
Temperature	Celsius

Geometry

TABLE 2 Model (B4) > Geometry

Object Name	Geometry
State	Fully Defined
Definition	
Source	D:\4314100042 - TA AZZAM\ANSYS\U TYPE\U TYPE_files\dp0\FFF\DM\FFF.agdb
Type	DesignModeler
Length Unit	Meters
Element Control	Program Controlled
Display Style	Body Color
Bounding Box	
Length X	28,067 m
Length Y	0,3556 m
Length Z	12,178 m
Properties	
Volume	0,8723 m ³

Mass	6847,6 kg
Scale Factor Value	1,
Statistics	
Bodies	2
Active Bodies	1
Nodes	203734
Elements	29072
Mesh Metric	None
Basic Geometry Options	
Parameters	Yes
Parameter Key	DS
Attributes	No
Named Selections	No
Material Properties	No
Advanced Geometry Options	
Use Associativity	Yes
Coordinate Systems	No
Reader Mode Saves Updated File	No
Use Instances	Yes
Smart CAD Update	No
Compare Parts On Update	No
Attach File Via Temp File	Yes
Temporary Directory	C:\Users\RWP2\AppData\Local\Temp
Analysis Type	3-D
Decompose Disjoint Geometry	Yes
Enclosure and Symmetry Processing	Yes

TABLE 3 Model (B4) > Geometry > Parts

Object Name	<i>Solid</i>	<i>Fluid</i>
State	Meshed	Suppressed
Graphics Properties		
Visible	Yes	No
Glow	0	
Shininess	1	
Transparency	1	
Specularity	1	
Definition		
Suppressed	No	Yes
ID (Beta)	16	108
Stiffness Behavior	Flexible	
Coordinate System	Default Coordinate System	
Reference Temperature	By Environment	
Material		
Assignment	Structural Steel	
Nonlinear Effects	Yes	
Thermal Strain Effects	Yes	
Bounding Box		
Length X	28,067 m	28,049 m

Length Y	0,3556 m	0,3206 m
Length Z	12,178 m	12,16 m
Properties		
Volume	0,8723 m ³	3,7883 m ³
Mass	6847,6 kg	
Centroid X	17,671 m	17,668 m
Centroid Y	6,946e-005 m	1,4172e-005 m
Centroid Z	-2,2174 m	-2,2178 m
Moment of Inertia Ip1	59885 kg·m ²	
Moment of Inertia Ip2	5,0179e+005 kg·m ²	
Moment of Inertia Ip3	4,421e+005 kg·m ²	
Statistics		
Nodes	203734	0
Elements	29072	0
Mesh Metric	None	

Coordinate Systems

TABLE 4 Model (B4) > Coordinate Systems > Coordinate System

Object Name	Global Coordinate System	Coordinate System	Coordinate System 2	Coordinate System 3
State	Fully Defined			
Definition				
Type	Cartesian			
Coordinate System ID	0,			
Coordinate System		Program Controlled		
Suppressed		No		
Origin				
Origin X	0, m	20,149 m	27,629 m	
Origin Y	0, m	0,11286 m		
Origin Z	0, m	-4,616 m	-4,0952 m	-0,26041 m
Define By		Geometry Selection		
Geometry		Defined		
Directional Vectors				
X Axis Data	[1, 0, 0,]			
Y Axis Data	[0, 1, 0,]			
Z Axis Data	[0, 0, 1,]			
Principal Axis				
Axis		X		
Define By		Global X Axis		
Orientation About Principal Axis				
Axis		Y		
Define By		Default		
Transformations				
Base Configuration		Absolute		
Transformed Configuration		[20,149 0,11286 -4,616]	[27,629 0,11286 - 4,0952]	[27,629 0,11286 - 0,26041]

Mesh

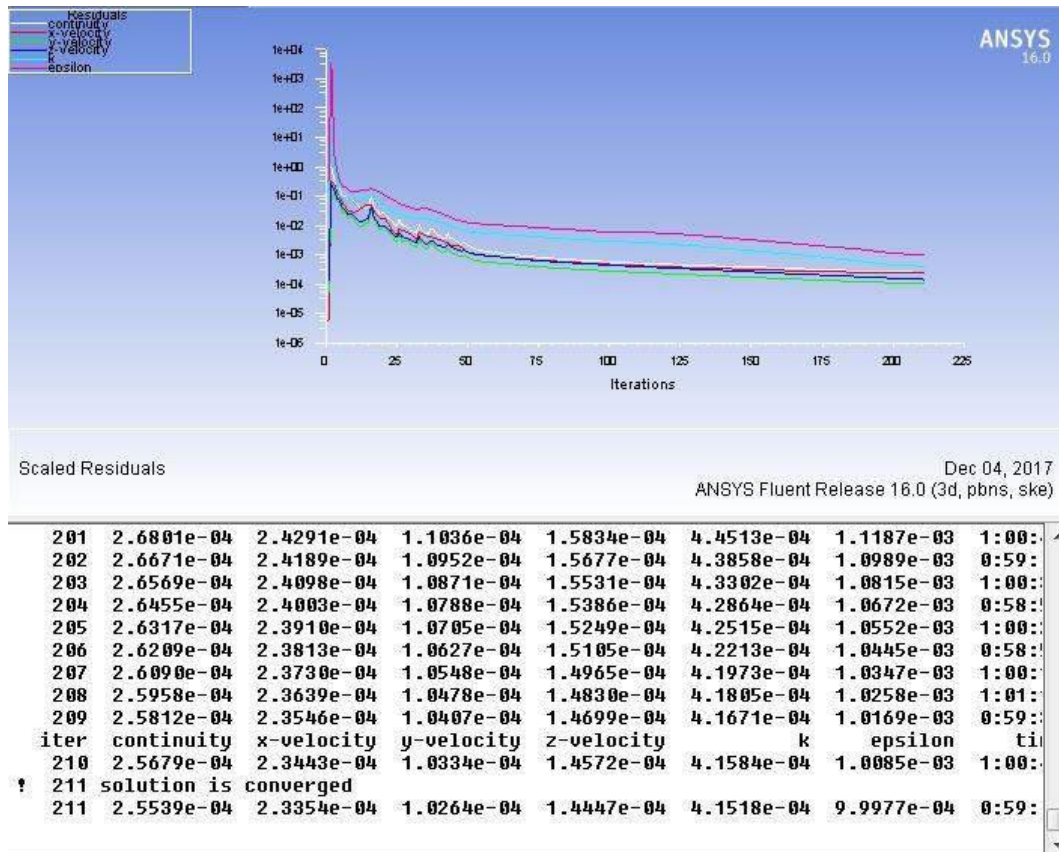
TABLE 5 Model (B4) > Mesh

Object Name	<i>Mesh</i>
State	Solved
Display	
Display Style	Body Color
Defaults	
Physics Preference	Mechanical
Relevance	0
Sizing	
Use Advanced Size Function	Off
Relevance Center	Coarse
Element Size	Default
Initial Size Seed	Active Assembly
Smoothing	Medium
Transition	Fast
Span Angle Center	Coarse
Minimum Edge Length	0,50360 m
Inflation	
Use Automatic Inflation	None
Inflation Option	Smooth Transition
Transition Ratio	0,272
Maximum Layers	5
Growth Rate	1,2
Inflation Algorithm	Pre
View Advanced Options	No
Patch Conforming Options	
Triangle Surface Mesher	Program Controlled
Patch Independent Options	
Topology Checking	No
Advanced	
Number of CPUs for Parallel Part Meshing	Program Controlled
Shape Checking	Standard Mechanical
Element Midside Nodes	Program Controlled
Straight Sided Elements	No
Number of Retries	Default (4)
Extra Retries For Assembly	Yes
Rigid Body Behavior	Dimensionally Reduced
Mesh Morphing	Disabled
Defeaturing	
Pinch Tolerance	Please Define
Generate Pinch on Refresh	No
Automatic Mesh Based Defeaturing	On
Defeaturing Tolerance	Default
Statistics	
Nodes	203734
Elements	29072
Mesh Metric	None

TABLE 6 Model (B4) > Mesh > Mesh Controls

Object Name	Body Sizing	Body Sizing 2	Body Sizing 3	Body Sizing 4
State	Fully Defined			
	Scope			
Scoping Method	Geometry Selection			
Geometry	1 Body			
	Definition			
Suppressed	No			
Type	Element Size	Sphere of Influence		
Element Size	0,1 m	2,e-002 m		
Behavior	Soft			
Sphere Center		Coordinate System	Coordinate System 2	Coordinate System 3
Sphere Radius		0,8 m		

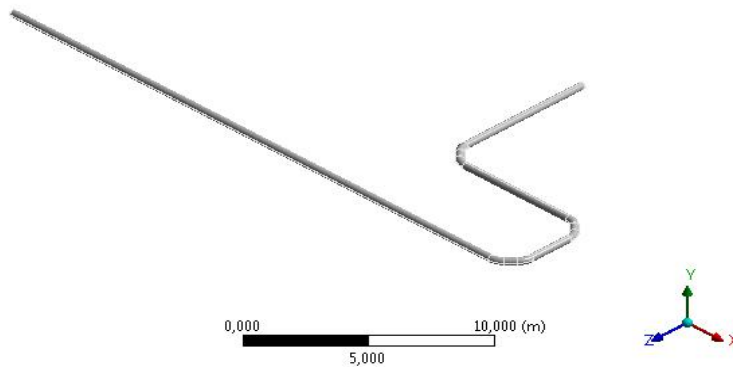
RUNNING CONVERGENCES





Project

First Saved	Monday, December 04, 2017
Last Saved	Wednesday, December 06, 2017
Product Version	16.0 Release
Save Project Before Solution	No
Save Project After Solution	No



Units

TABLE 1

Unit System	Metric (m, kg, N, s, V, A) Degrees rad/s Celsius
Angle	Degrees
Rotational Velocity	rad/s
Temperature	Celsius

Geometry

TABLE 2 Model (B4) > Geometry

Object Name	Geometry
State	Fully Defined
Definition	
Source	D:\4314100042 - TA AZZAM\ANSYS\U TYPE\U TYPE_files\dp0\FFF-1\DM\FFF-1.agdb
Type	DesignModeler
Length Unit	Meters
Element Control	Program Controlled
Display Style	Body Color
Bounding Box	
Length X	28,067 m
Length Y	0,3556 m
Length Z	12,178 m
Properties	
Volume	0,86077 m ³

Mass	6757, kg
Scale Factor Value	1,
Statistics	
Bodies	2
Active Bodies	1
Nodes	220320
Elements	31440
Mesh Metric	None
Basic Geometry Options	
Parameters	Yes
Parameter Key	DS
Attributes	No
Named Selections	No
Material Properties	No
Advanced Geometry Options	
Use Associativity	Yes
Coordinate Systems	No
Reader Mode Saves Updated File	No
Use Instances	Yes
Smart CAD Update	No
Compare Parts On Update	No
Attach File Via Temp File	Yes
Temporary Directory	C:\Users\RWP2\AppData\Local\Temp
Analysis Type	3-D
Decompose Disjoint Geometry	Yes
Enclosure and Symmetry Processing	Yes

TABLE 3 Model (B4) > Geometry > Parts

Object Name	Solid	Fluid
State	Meshed	Suppressed
Graphics Properties		
Visible	Yes	No
Glow	0	
Shininess	1	
Transparency	1	
Specularity	1	
Definition		
Suppressed	No	Yes
ID (Beta)	16	69
Stiffness Behavior	Flexible	

Base Configuration		Absolute					
Transformed Configuration		[19,946 0,11283 - 5,172]	[20,705 0,11283 - 4,4124]	[27,073 0,11287 - 4,2987]	[27,832 0,11287 - 3,5391]	[27,832 0,11287 - 0,81645]	[27,073 0,11287 - 5,6888e- 002]

Mesh

TABLE 5 Model (D4) > Mesh

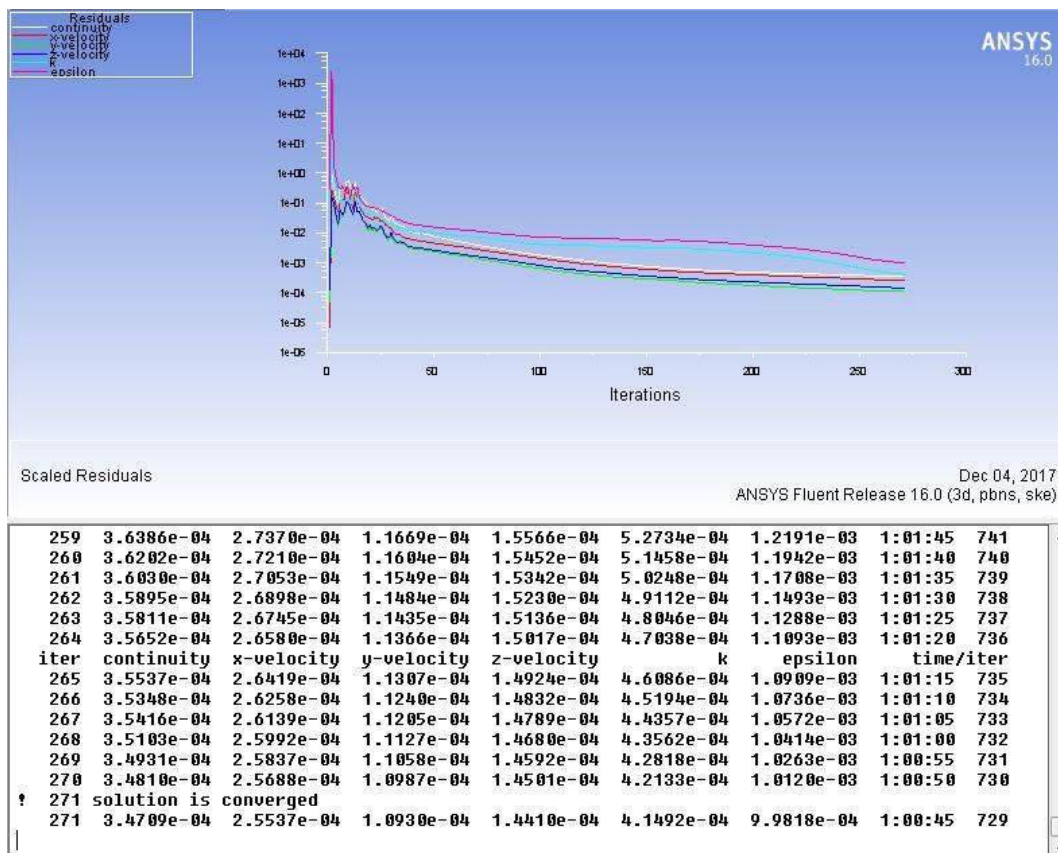
Object Name	<i>Mesh</i>
State	Solved
Display	
Display Style	Body Color
Defaults	
Physics Preference	Mechanical
Relevance	0
Sizing	
Use Advanced Size Function	Off
Relevance Center	Coarse
Element Size	Default
Initial Size Seed	Active Assembly
Smoothing	Medium
Transition	Fast
Span Angle Center	Coarse
Minimum Edge Length	0,25180 m
Inflation	
Use Automatic Inflation	None
Inflation Option	Smooth Transition
Transition Ratio	0,272
Maximum Layers	5
Growth Rate	1,2
Inflation Algorithm	Pre
View Advanced Options	No
Patch Conforming Options	
Triangle Surface Mesher	Program Controlled
Patch Independent Options	
Topology Checking	No
Advanced	
Number of CPUs for Parallel Part Meshing	Program Controlled
Shape Checking	Standard Mechanical
Element Midside Nodes	Program Controlled
Straight Sided Elements	No
Number of Retries	Default (4)
Extra Retries For Assembly	Yes
Rigid Body Behavior	Dimensionally Reduced
Mesh Morphing	Disabled
Defeaturing	
Pinch Tolerance	Please Define
Generate Pinch on Refresh	No
Automatic Mesh Based Defeaturing	On
Defeaturing Tolerance	Default
Statistics	

Nodes	220320
Elements	31440
Mesh Metric	None

TABLE 6 Model (D4) > Mesh > Mesh Controls

Object Name	Body Sizing	Body Sizing 2	Body Sizing 3	Body Sizing 4	Body Sizing 5	Body Sizing 6	Body Sizing 7
State	Fully Defined						
Scope							
Scoping Method	Geometry Selection						
Geometry	1 Body						
Definition							
Suppressed	No						
Type	Element Size	Sphere of Influence					
Element Size	0,1 m	2,e-002 m					
Behavior	Soft						
Sphere Center		Coordinate System	Coordinate System 2	Coordinate System 3	Coordinate System 4	Coordinate System 5	Coordinate System 6
Sphere Radius		0,45 m					

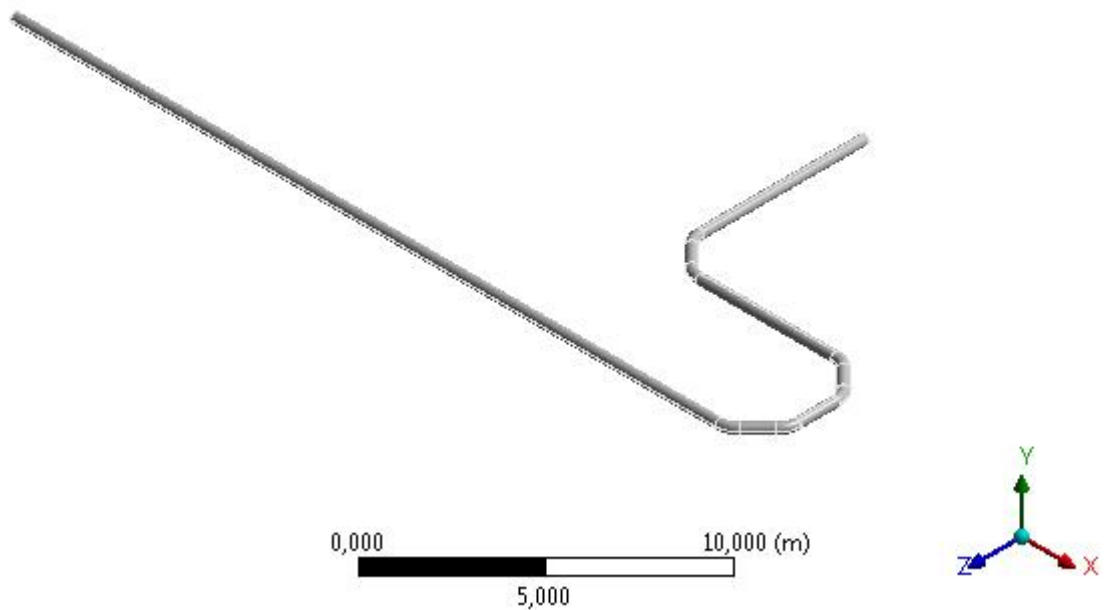
RUNNING CONVERGENCES





Project

First Saved	Monday, December 04, 2017
Last Saved	Wednesday, December 06, 2017
Product Version	16.0 Release
Save Project Before Solution	No
Save Project After Solution	No



Units

TABLE 1

Unit System	Metric (m, kg, N, s, V, A) Degrees rad/s Celsius
Angle	Degrees
Rotational Velocity	rad/s
Temperature	Celsius

Geometry

TABLE 2 Model (F4) > Geometry

Object Name	Geometry
State	Fully Defined
Definition	
Source	D:\4314100042 - TA AZZAM\ANSYS\U TYPE\U TYPE_files\dp0\FFF-2\DM\FFF-2.agdb
Type	DesignModeler
Length Unit	Meters
Element Control	Program Controlled
Display Style	Body Color
Bounding Box	

Length X	28,067 m
Length Y	0,3556 m
Length Z	12,178 m
Properties	
Volume	0,84921 m ³
Mass	6666,3 kg
Scale Factor Value	1,
Statistics	
Bodies	2
Active Bodies	1
Nodes	218617
Elements	31752
Mesh Metric	None
Basic Geometry Options	
Parameters	Yes
Parameter Key	DS
Attributes	No
Named Selections	No
Material Properties	No
Advanced Geometry Options	
Use Associativity	Yes
Coordinate Systems	No
Reader Mode Saves Updated File	No
Use Instances	Yes
Smart CAD Update	No
Compare Parts On Update	No
Attach File Via Temp File	Yes
Temporary Directory	C:\Users\RWP2\AppData\Local\Temp
Analysis Type	3-D
Decompose Disjoint Geometry	Yes
Enclosure and Symmetry Processing	Yes

TABLE 3 Model (F4) > Geometry > Parts

Object Name	<i>Solid</i>	<i>Fluid</i>
State	Meshed	Suppressed
Graphics Properties		
Visible	Yes	No
Glow	0	
Shininess	1	
Transparency	1	
Specularity	1	
Definition		
Suppressed	No	Yes
ID (Beta)	16	65
Stiffness Behavior	Flexible	
Coordinate System	Default Coordinate System	
Reference Temperature	By Environment	

Material		
Assignment	Structural Steel	
Nonlinear Effects	Yes	
Thermal Strain Effects	Yes	
Bounding Box		
Length X	28,067 m	28,049 m
Length Y	0,3556 m	0,3206 m
Length Z	12,178 m	12,16 m
Properties		
Volume	0,84921 m³	3,688 m³
Mass	6666,3 kg	
Centroid X	17,46 m	17,459 m
Centroid Y	-1,6134e-004 m	1,5826e-005 m
Centroid Z	-2,2035 m	-2,2039 m
Moment of Inertia Ip1	58532 kg·m²	
Moment of Inertia Ip2	4,8657e+005 kg·m²	
Moment of Inertia Ip3	4,2823e+005 kg·m²	
Statistics		
Nodes	218617	0
Elements	31752	0
Mesh Metric	None	

Coordinate Systems

TABLE 4 Model (F4) > Coordinate Systems > Coordinate System

Object Name	Global Coordinate System	Coordinate System	Coordinate System 2	Coordinate System 3	Coordinate System 4	Coordinate System 5	Coordinate System 6
State	Fully Defined						
Definition							
Type	Cartesian						
Coordinate System ID	0,						
Coordinate System		Program Controlled					
Suppressed		No					
Origin							
Origin X	0, m	19,946 m	21,059 m	26,719 m	27,832 m		26,719 m
Origin Y	0, m	0,11283 m		0,11288 m			0,11287 m
Origin Z	0, m	-5,5256 m	-4,4124 m	-4,2987 m	-3,1856 m	-1,17 m	-5,6883e-002 m
Define By		Geometry Selection					
Geometry		Defined					
Directional Vectors							
X Axis Data	[1, 0, 0,]						
Y Axis Data	[0, 1, 0,]						
Z Axis Data	[0, 0, 1,]						
Principal Axis							
Axis		X					
Define By		Global X Axis					
Orientation About Principal Axis							
Axis		Y					

Define By		Default					
Transformations							
Base Configuration		Absolute					
Transformed Configuration		[19,946 0,11283 -5,5256]	[21,059 0,11283 -4,4124]	[26,719 0,11288 -4,2987]	[27,832 0,11288 -3,1856]	[27,832 0,11288 -1,17]	[26,719 0,11287 - 5,6883e- 002]

Mesh

TABLE 5 Model (F4) > Mesh

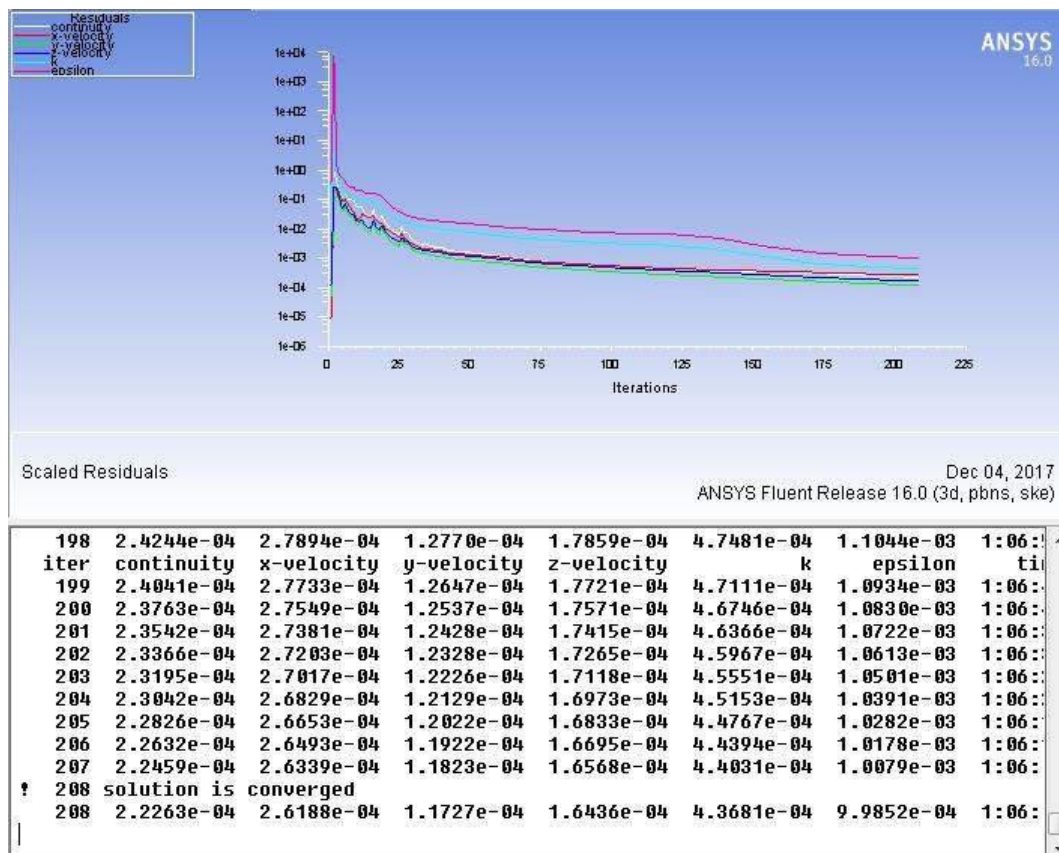
Object Name	<i>Mesh</i>
State	Solved
Display	
Display Style	Body Color
Defaults	
Physics Preference	Mechanical
Relevance	0
Sizing	
Use Advanced Size Function	Off
Relevance Center	Coarse
Element Size	Default
Initial Size Seed	Active Assembly
Smoothing	Medium
Transition	Fast
Span Angle Center	Coarse
Minimum Edge Length	0,25180 m
Inflation	
Use Automatic Inflation	None
Inflation Option	Smooth Transition
Transition Ratio	0,272
Maximum Layers	5
Growth Rate	1,2
Inflation Algorithm	Pre
View Advanced Options	No
Patch Conforming Options	
Triangle Surface Mesher	Program Controlled
Patch Independent Options	
Topology Checking	No
Advanced	
Number of CPUs for Parallel Part Meshing	Program Controlled
Shape Checking	Standard Mechanical
Element Midside Nodes	Program Controlled
Straight Sided Elements	No
Number of Retries	Default (4)
Extra Retries For Assembly	Yes
Rigid Body Behavior	Dimensionally Reduced
Mesh Morphing	Disabled
Defeating	
Pinch Tolerance	Please Define
Generate Pinch on Refresh	No
Automatic Mesh Based Defeating	On

Defeating Tolerance	Default
Statistics	
Nodes	218617
Elements	31752
Mesh Metric	None

TABLE 6 Model (F4) > Mesh > Mesh Controls

Object Name	Body Sizing	Body Sizing 2	Body Sizing 3	Body Sizing 4	Body Sizing 5	Body Sizing 6	Body Sizing 7
State	Fully Defined						
Scope							
Scoping Method	Geometry Selection						
Geometry	1 Body						
Definition							
Suppressed	No						
Type	Element Size	Sphere of Influence					
Element Size	0,1 m	2,e-002 m					
Behavior	Soft						
Sphere Center		Coordinate System	Coordinate System 2	Coordinate System 3	Coordinate System 4	Coordinate System 5	Coordinate System 6
Sphere Radius		0,45 m					

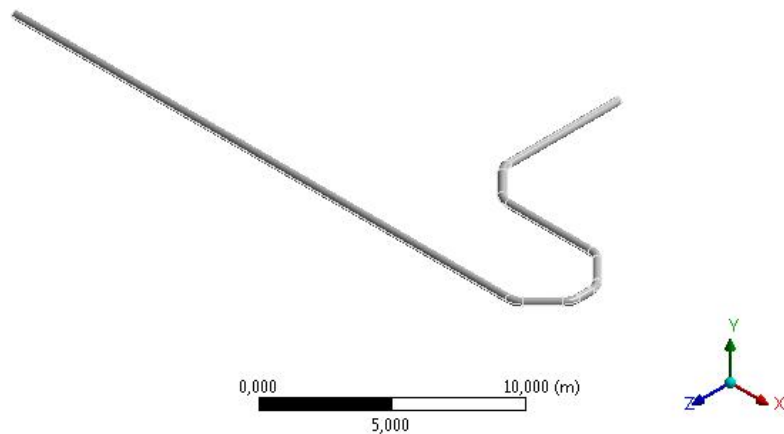
RUNNING CONVERGENCES





Project

First Saved	Monday, December 04, 2017
Last Saved	Wednesday, December 06, 2017
Product Version	16.0 Release
Save Project Before Solution	No
Save Project After Solution	No



Units

TABLE 1

Unit System	Metric (m, kg, N, s, V, A) Degrees rad/s Celsius
Angle	Degrees
Rotational Velocity	rad/s
Temperature	Celsius

Geometry

TABLE 2 Model (H4) > Geometry

Object Name	Geometry
State	Fully Defined
Definition	
Source	D:\4314100042 - TA AZZAM\ANSYS\U TYPE\U TYPE_files\dp0\FFF-3\DM\FFF-3.agdb
Type	DesignModeler
Length Unit	Meters
Element Control	Program Controlled
Display Style	Body Color
Bounding Box	
Length X	28,067 m
Length Y	0,3556 m
Length Z	12,178 m
Properties	
Volume	0,83766 m ³
Mass	6575,6 kg

Scale Factor Value	1,
Statistics	
Bodies	2
Active Bodies	1
Nodes	212214
Elements	30821
Mesh Metric	None
Basic Geometry Options	
Parameters	Yes
Parameter Key	DS
Attributes	No
Named Selections	No
Material Properties	No
Advanced Geometry Options	
Use Associativity	Yes
Coordinate Systems	No
Reader Mode Saves Updated File	No
Use Instances	Yes
Smart CAD Update	No
Compare Parts On Update	No
Attach File Via Temp File	Yes
Temporary Directory	C:\Users\RWP2\AppData\Local\Temp
Analysis Type	3-D
Decompose Disjoint Geometry	Yes
Enclosure and Symmetry Processing	Yes

TABLE 3 Model (H4) > Geometry > Parts

Object Name	<i>Solid</i>	<i>Fluid</i>
State	Meshed	Suppressed
Graphics Properties		
Visible	Yes	No
Glow	0	
Shininess	1	
Transparency	1	
Specularity	1	
Definition		
Suppressed	No	Yes
ID (Beta)	16	48
Stiffness Behavior	Flexible	
Coordinate System	Default Coordinate System	
Reference Temperature	By Environment	
Material		
Assignment	Structural Steel	
Nonlinear Effects	Yes	
Thermal Strain Effects	Yes	
Bounding Box		
Length X	28,067 m	28,049 m

Length Y	0,3556 m	0,3206 m
Length Z	12,178 m	12,16 m
Properties		
Volume	0,83766 m³	3,6378 m³
Mass	6575,6 kg	
Centroid X	17,349 m	17,348 m
Centroid Y	2,0291e-005 m	1,5791e-005 m
Centroid Z	-2,1979 m	-2,1983 m
Moment of Inertia Ip1	57853 kg·m²	
Moment of Inertia Ip2	4,7844e+005 kg·m²	
Moment of Inertia Ip3	4,2078e+005 kg·m²	
Statistics		
Nodes	212214	0
Elements	30821	0
Mesh Metric	None	

Coordinate Systems

TABLE 4 Model (H4) > Coordinate Systems > Coordinate System

Object Name	Global Coordinate System	Coordinate System	Coordinate System 2	Coordinate System 3	Coordinate System 4	Coordinate System 5	Coordinate System 6
State	Fully Defined						
Definition							
Type	Cartesian						
Coordinate System ID	0,						
Coordinate System		Program Controlled					
Suppressed		No					
Origin							
Origin X	0, m	19,946 m	21,413 m	26,365 m	27,832 m		26,365 m
Origin Y	0, m	0,11283 m	0,11282 m	0,11288 m	0,11287 m	0,11288 m	0,11287 m
Origin Z	0, m	-5,8792 m	-4,4124 m	-4,2987 m	-2,832 m	-1,5236 m	-5,6881e- 002 m
Define By		Geometry Selection					
Geometry		Defined					
Directional Vectors							
X Axis Data	[1, 0, 0,]						
Y Axis Data	[0, 1, 0,]						
Z Axis Data	[0, 0, 1,]						
Principal Axis							
Axis		X					
Define By		Global X Axis					
Orientation About Principal Axis							
Axis		Y					
Define By		Default					
Transformations							
Base Configuration		Absolute					
Transformed Configuration		[19,946 0,11283 -5,8792]	[21,413 0,11282 -4,4124]	[26,365 0,11288 -4,2987]	[27,832 0,11287 -2,832]	[27,832 0,11288 -1,5236]	[26,365 0,11287 -

							5,6881e-002]
--	--	--	--	--	--	--	---------------

Mesh

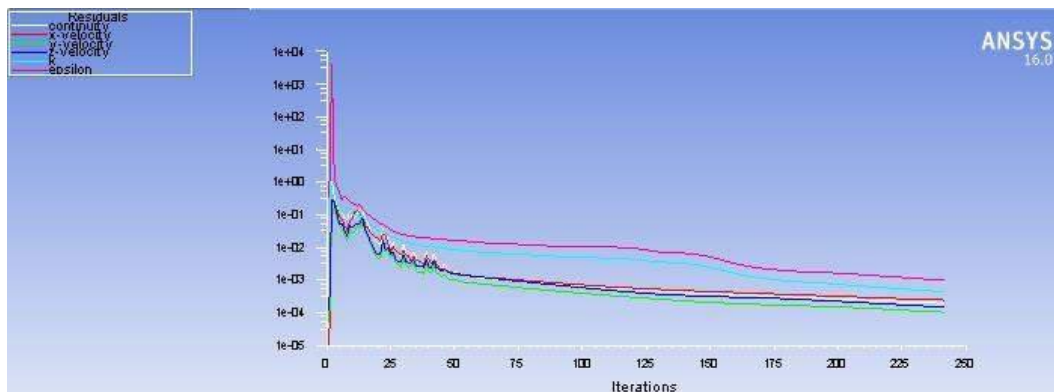
TABLE 8 Model (H4) > Mesh

Object Name	<i>Mesh</i>
State	Solved
Display	
Display Style	Body Color
Defaults	
Physics Preference	Mechanical
Relevance	0
Sizing	
Use Advanced Size Function	Off
Relevance Center	Coarse
Element Size	Default
Initial Size Seed	Active Assembly
Smoothing	Medium
Transition	Fast
Span Angle Center	Coarse
Minimum Edge Length	0,25180 m
Inflation	
Use Automatic Inflation	None
Inflation Option	Smooth Transition
Transition Ratio	0,272
Maximum Layers	5
Growth Rate	1,2
Inflation Algorithm	Pre
View Advanced Options	No
Patch Conforming Options	
Triangle Surface Mesher	Program Controlled
Patch Independent Options	
Topology Checking	No
Advanced	
Number of CPUs for Parallel Part Meshing	Program Controlled
Shape Checking	Standard Mechanical
Element Midside Nodes	Program Controlled
Straight Sided Elements	No
Number of Retries	Default (4)
Extra Retries For Assembly	Yes
Rigid Body Behavior	Dimensionally Reduced
Mesh Morphing	Disabled
Defeaturing	
Pinch Tolerance	Please Define
Generate Pinch on Refresh	No
Automatic Mesh Based Defeaturing	On
Defeaturing Tolerance	Default
Statistics	
Nodes	212214
Elements	30821
Mesh Metric	None

TABLE 9 Model (H4) > Mesh > Mesh Controls

Object Name	Body Sizing	Body Sizing 2	Body Sizing 3	Body Sizing 4	Body Sizing 5	Body Sizing 6	Body Sizing 7
State	Fully Defined						
Scope							
Scoping Method	Geometry Selection						
Geometry	1 Body						
Definition							
Suppressed	No						
Type	Element Size	Sphere of Influence					
Element Size	0,1 m	2,e-002 m					
Behavior	Soft						
Sphere Center		Coordinate System	Coordinate System 2	Coordinate System 3	Coordinate System 4	Coordinate System 5	Coordinate System 6
Sphere Radius		0,45 m					

RUNNING CONVERGENCES



Scaled Residuals

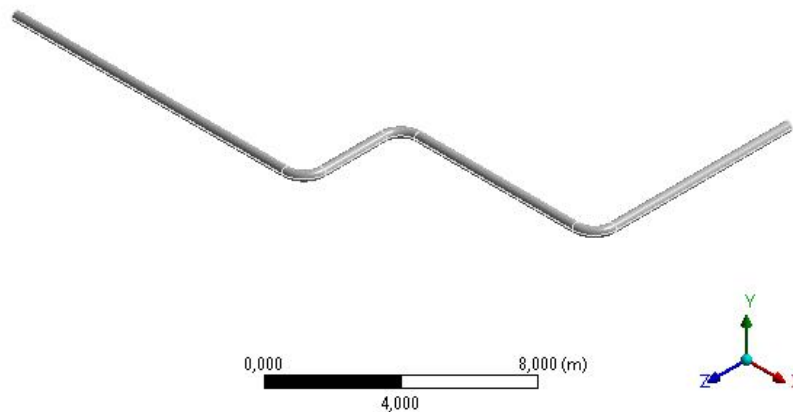
Dec 05, 2017
ANSYS Fluent Release 16.0 (3d, pbns, ske)

231	2.1139e-04	2.6092e-04	1.1424e-04	1.6502e-04	4.9945e-04	1.1201e-03	1:04:
iter	continuity	x-velocity	y-velocity	z-velocity	k	epsilon	ti
232	2.0989e-04	2.5934e-04	1.1329e-04	1.6334e-04	4.9308e-04	1.1049e-03	1:04:
233	2.0819e-04	2.5787e-04	1.1235e-04	1.6163e-04	4.8702e-04	1.0898e-03	1:03:
234	2.0641e-04	2.5640e-04	1.1143e-04	1.5996e-04	4.8111e-04	1.0749e-03	1:03:
235	2.0459e-04	2.5479e-04	1.1046e-04	1.5831e-04	4.7548e-04	1.0610e-03	1:03:
236	2.0287e-04	2.5323e-04	1.0950e-04	1.5671e-04	4.7014e-04	1.0481e-03	1:03:
237	2.0123e-04	2.5178e-04	1.0856e-04	1.5510e-04	4.6493e-04	1.0362e-03	1:03:
238	2.0002e-04	2.5035e-04	1.0758e-04	1.5352e-04	4.5987e-04	1.0248e-03	1:03:
239	1.9873e-04	2.4895e-04	1.0661e-04	1.5193e-04	4.5497e-04	1.0137e-03	1:03:
240	1.9744e-04	2.4747e-04	1.0567e-04	1.5040e-04	4.5002e-04	1.0029e-03	1:03:
241	solution is converged						
241	1.9591e-04	2.4607e-04	1.0470e-04	1.4889e-04	4.4506e-04	9.9297e-04	1:03:



Project

First Saved	Saturday, December 02, 2017
Last Saved	Thursday, December 07, 2017
Product Version	16.0 Release
Save Project Before Solution	No
Save Project After Solution	No



Units

TABLE 1

Unit System	Metric (m, kg, N, s, V, A) Degrees rad/s Celsius
Angle	Degrees
Rotational Velocity	rad/s
Temperature	Celsius

Geometry

TABLE 2 Model (B4) > Geometry

Object Name	Geometry
State	Fully Defined
Definition	
Source	D:\4314100042 - TA AZZAM\ANSYS\Z TYPE\Z TYPE_files\dp0\FFF\DM\FFF.agdb
Type	DesignModeler
Length Unit	Meters
Element Control	Program Controlled
Display Style	Body Color
Bounding Box	
Length X	20,067 m
Length Y	0,3556 m
Length Z	12,178 m
Properties	
Volume	0,57484 m ³
Mass	4512,5 kg

Scale Factor Value	1,
Statistics	
Bodies	2
Active Bodies	1
Nodes	151570
Elements	21620
Mesh Metric	None
Basic Geometry Options	
Parameters	Yes
Parameter Key	DS
Attributes	No
Named Selections	No
Material Properties	No
Advanced Geometry Options	
Use Associativity	Yes
Coordinate Systems	No
Reader Mode Saves Updated File	No
Use Instances	Yes
Smart CAD Update	No
Compare Parts On Update	No
Attach File Via Temp File	Yes
Temporary Directory	C:\Users\RWP2\AppData\Local\Temp
Analysis Type	3-D
Decompose Disjoint Geometry	Yes
Enclosure and Symmetry Processing	Yes

TABLE 3 Model (B4) > Geometry > Parts

Object Name	<i>Solid</i>	<i>Fluid</i>
State	Meshed	Suppressed
Graphics Properties		
Visible	Yes	No
Glow	0	
Shininess	1	
Transparency	1	
Specularity	1	
Definition		
Suppressed	No	Yes
ID (Beta)	16	108
Stiffness Behavior	Flexible	
Coordinate System	Default Coordinate System	
Reference Temperature	By Environment	
Material		
Assignment	Structural Steel	
Nonlinear Effects	Yes	
Thermal Strain Effects	Yes	
Bounding Box		
Length X	20,067 m	20,049 m
Length Y	0,3556 m	0,3206 m

Length Z	12,178 m	12,16 m
Properties		
Volume	0,57484 m³	2,4965 m³
Mass	4512,5 kg	
Centroid X	12,629 m	12,623 m
Centroid Y	-8,7341e-005 m	1,5966e-005 m
Centroid Z	-3,2841 m	-3,2815 m
Moment of Inertia Ip1	12497 kg·m²	
Moment of Inertia Ip2	2,2718e+005 kg·m²	
Moment of Inertia Ip3	2,1481e+005 kg·m²	
Statistics		
Nodes	151570	0
Elements	21620	0
Mesh Metric	None	

Coordinate Systems

TABLE 4 Model (B4) > Coordinate Systems > Coordinate System

Object Name	Global Coordinate System	Coordinate System	Coordinate System 2	Coordinate System 3
State	Fully Defined			
Definition				
Type	Cartesian			
Coordinate System ID	0,			
Coordinate System		Program Controlled		
Suppressed		No		
Origin				
Origin X	0, m	19,629 m	12,149 m	11,629 m
Origin Y	0, m	0,11286 m		
Origin Z	0, m	-4,2604 m	-3,7396 m	-0,26041 m
Define By		Geometry Selection		
Geometry		Defined		
Directional Vectors				
X Axis Data	[1, 0, 0,]			
Y Axis Data	[0, 1, 0,]			
Z Axis Data	[0, 0, 1,]			
Principal Axis				
Axis		X		
Define By		Global X Axis		
Orientation About Principal Axis				
Axis		Y		
Define By		Default		
Transformations				
Base Configuration		Absolute		
Transformed Configuration		[19,629 0,11286 - 4,2604]	[12,149 0,11286 - 3,7396]	[11,629 0,11286 - 0,26041]

Mesh

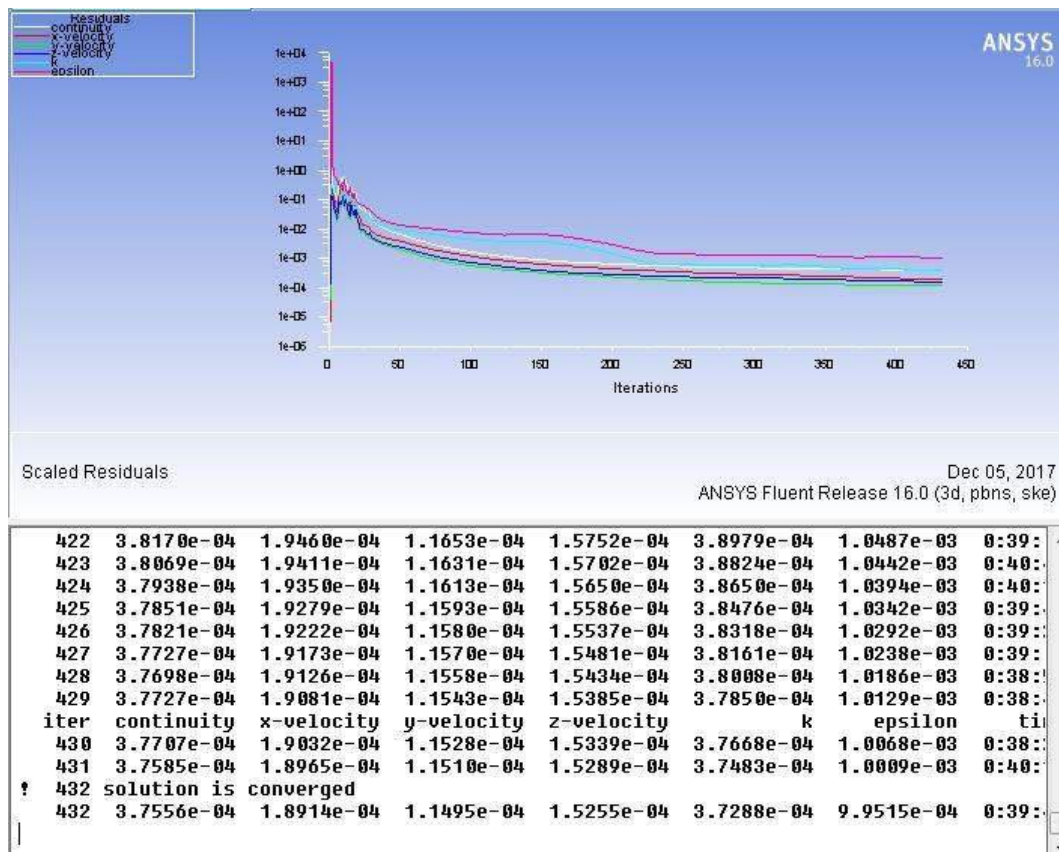
TABLE 5 Model (B4) > Mesh

Object Name	<i>Mesh</i>
State	Solved
Display	
Display Style	Body Color
Defaults	
Physics Preference	Mechanical
Relevance	0
Sizing	
Use Advanced Size Function	Off
Relevance Center	Coarse
Element Size	Default
Initial Size Seed	Active Assembly
Smoothing	Medium
Transition	Fast
Span Angle Center	Coarse
Minimum Edge Length	0,50360 m
Inflation	
Use Automatic Inflation	None
Inflation Option	Smooth Transition
Transition Ratio	0,272
Maximum Layers	5
Growth Rate	1,2
Inflation Algorithm	Pre
View Advanced Options	No
Patch Conforming Options	
Triangle Surface Mesher	Program Controlled
Patch Independent Options	
Topology Checking	No
Advanced	
Number of CPUs for Parallel Part Meshing	Program Controlled
Shape Checking	Standard Mechanical
Element Midside Nodes	Program Controlled
Straight Sided Elements	No
Number of Retries	Default (4)
Extra Retries For Assembly	Yes
Rigid Body Behavior	Dimensionally Reduced
Mesh Morphing	Disabled
Defeaturing	
Pinch Tolerance	Please Define
Generate Pinch on Refresh	No
Automatic Mesh Based Defeaturing	On
Defeaturing Tolerance	Default
Statistics	
Nodes	151570
Elements	21620
Mesh Metric	None

TABLE 6 Model (B4) > Mesh > Mesh Controls

Object Name	Body Sizing	Body Sizing 2	Body Sizing 3	Body Sizing 4
State	Fully Defined			
Scope				
Scoping Method	Geometry Selection			
Geometry	1 Body			
Definition				
Suppressed	No			
Type	Element Size	Sphere of Influence		
Element Size	0,1 m	2,e-002 m		
Behavior	Soft			
Sphere Center		Coordinate System	Coordinate System 2	Coordinate System 3
Sphere Radius		0,8 m		

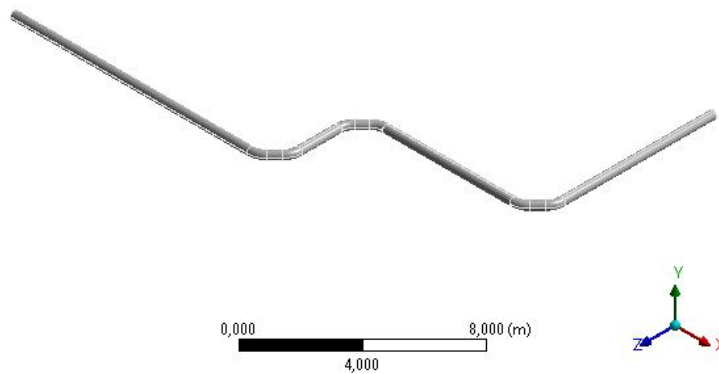
RUNNING CONVERGENCES





Project

First Saved	Monday, December 04, 2017
Last Saved	Thursday, December 07, 2017
Product Version	16.0 Release
Save Project Before Solution	No
Save Project After Solution	No



Units

TABLE 1

Unit System	Metric (m, kg, N, s, V, A) Degrees rad/s Celsius
Angle	Degrees
Rotational Velocity	rad/s
Temperature	Celsius

Geometry

TABLE 2 Model (D4) > Geometry

Object Name	Geometry
State	Fully Defined
Definition	
Source	D:\4314100042 - TA AZZAM\ANSYS\Z TYPE\Z TYPE_files\dp0\FFF-1\DM\FFF-1.agdb
Type	DesignModeler
Length Unit	Meters
Element Control	Program Controlled
Display Style	Body Color
Bounding Box	
Length X	20,067 m
Length Y	0,3556 m
Length Z	12,178 m
Properties	
Volume	0,5633 m ³
Mass	4421,9 kg
Scale Factor Value	1,
Statistics	

Bodies	2
Active Bodies	1
Nodes	159626
Elements	23184
Mesh Metric	None
Basic Geometry Options	
Parameters	Yes
Parameter Key	DS
Attributes	No
Named Selections	No
Material Properties	No
Advanced Geometry Options	
Use Associativity	Yes
Coordinate Systems	No
Reader Mode Saves Updated File	No
Use Instances	Yes
Smart CAD Update	No
Compare Parts On Update	No
Attach File Via Temp File	Yes
Temporary Directory	C:\Users\RWP2\AppData\Local\Temp
Analysis Type	3-D
Decompose Disjoint Geometry	Yes
Enclosure and Symmetry Processing	Yes

TABLE 3 Model (D4) > Geometry > Parts

Object Name	<i>Solid</i>	<i>Fluid</i>
State	Meshed	Suppressed
Graphics Properties		
Visible	Yes	No
Glow	0	
Shininess	1	
Transparency	1	
Specularity	1	
Definition		
Suppressed	No	Yes
ID (Beta)	16	69
Stiffness Behavior	Flexible	
Coordinate System	Default Coordinate System	
Reference Temperature	By Environment	
Material		
Assignment	Structural Steel	
Nonlinear Effects	Yes	
Thermal Strain Effects	Yes	
Bounding Box		
Length X	20,067 m	20,049 m
Length Y	0,3556 m	0,3206 m
Length Z	12,178 m	12,16 m

Properties		
Volume	0,5633 m ³	2,4463 m ³
Mass	4421,9 kg	
Centroid X	12,583 m	12,581 m
Centroid Y	1,9146e-005 m	1,0063e-005 m
Centroid Z	-3,2971 m	-3,296 m
Moment of Inertia Ip1	11940 kg·m ²	
Moment of Inertia Ip2	2,2535e+005 kg·m ²	
Moment of Inertia Ip3	2,1354e+005 kg·m ²	
Statistics		
Nodes	159626	0
Elements	23184	0
Mesh Metric	None	

Coordinate Systems

TABLE 4 Model (D4) > Coordinate Systems > Coordinate System

Object Name	Global Coordinate System	Coordinate System	Coordinate System 2	Coordinate System 3	Coordinate System 4	Coordinate System 5	Coordinate System 6
State	Fully Defined						
Definition							
Type	Cartesian						
Coordinate System ID	0,						
Coordinate System		Program Controlled					
Suppressed		No					
Origin							
Origin X	0, m	19,832 m	19,073 m	12,705 m	11,946 m	11,832 m	11,073 m
Origin Y	0, m	0,11287 m	0,11288 m	0,11282 m	0,11283 m	0,11288 m	0,11287 m
Origin Z	0, m	-4,8165 m	-4,0569 m	-3,9432 m	-3,1836 m	-0,81645 m	-5,6888e-002 m
Define By		Geometry Selection					
Geometry		Defined					
Directional Vectors							
X Axis Data	[1, 0, 0,]						
Y Axis Data	[0, 1, 0,]						
Z Axis Data	[0, 0, 1,]						
Principal Axis							
Axis		X					
Define By		Global X Axis					
Orientation About Principal Axis							
Axis		Y					
Define By		Default					
Transformations							
Base Configuration		Absolute					
Transformed Configuration		[19,832 0,11287 -4,8165]	[19,073 0,11288 -4,0569]	[12,705 0,11282 -3,9432]	[11,946 0,11283 -3,1836]	[11,832 0,11288 -0,81645]	[11,073 0,11287 -5,6888e-002]

Mesh

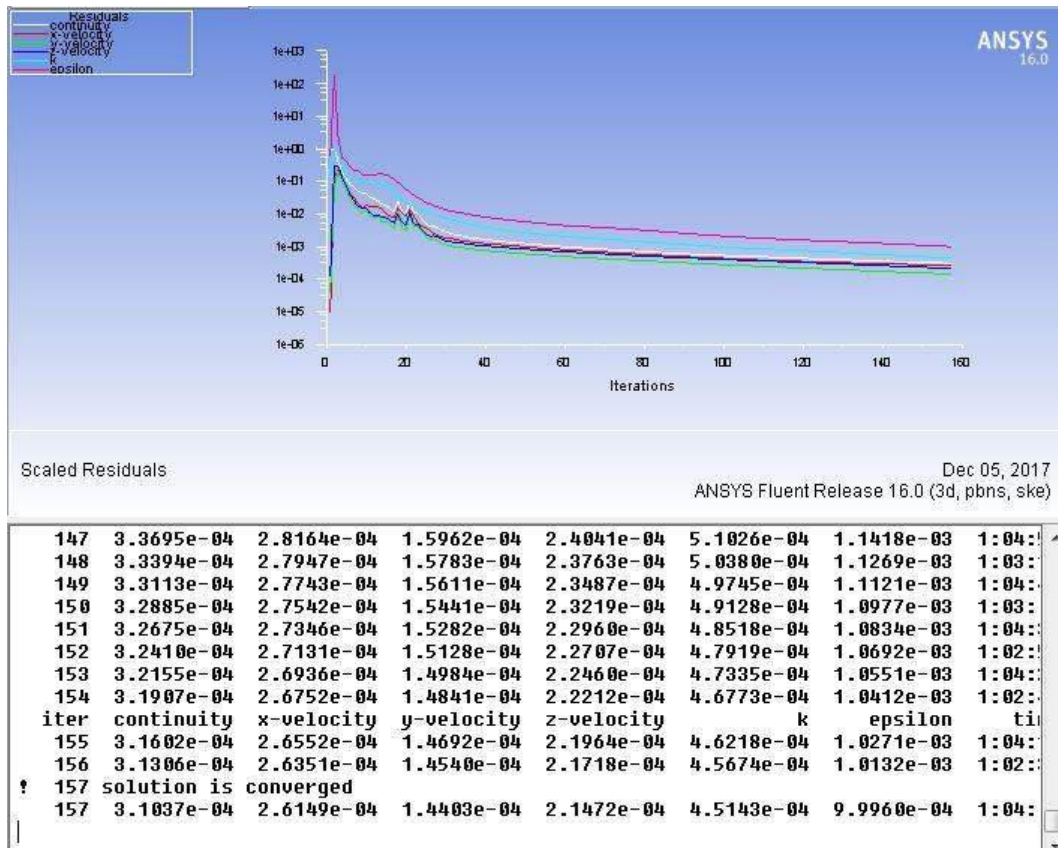
TABLE 5 Model (D4) > Mesh

Object Name	<i>Mesh</i>
State	Solved
Display	
Display Style	Body Color
Defaults	
Physics Preference	Mechanical
Relevance	0
Sizing	
Use Advanced Size Function	Off
Relevance Center	Coarse
Element Size	Default
Initial Size Seed	Active Assembly
Smoothing	Medium
Transition	Fast
Span Angle Center	Coarse
Minimum Edge Length	0,25180 m
Inflation	
Use Automatic Inflation	None
Inflation Option	Smooth Transition
Transition Ratio	0,272
Maximum Layers	5
Growth Rate	1,2
Inflation Algorithm	Pre
View Advanced Options	No
Patch Conforming Options	
Triangle Surface Mesher	Program Controlled
Patch Independent Options	
Topology Checking	No
Advanced	
Number of CPUs for Parallel Part Meshing	Program Controlled
Shape Checking	Standard Mechanical
Element Midside Nodes	Program Controlled
Straight Sided Elements	No
Number of Retries	Default (4)
Extra Retries For Assembly	Yes
Rigid Body Behavior	Dimensionally Reduced
Mesh Morphing	Disabled
Defeaturing	
Pinch Tolerance	Please Define
Generate Pinch on Refresh	No
Automatic Mesh Based Defeaturing	On
Defeaturing Tolerance	Default
Statistics	
Nodes	159626
Elements	23184
Mesh Metric	None

TABLE 6 Model (D4) > Mesh > Mesh Controls

Object Name	Body Sizing	Body Sizing 2	Body Sizing 3	Body Sizing 4	Body Sizing 5	Body Sizing 6	Body Sizing 7
State	Fully Defined						
Scope							
Scoping Method	Geometry Selection						
Geometry	1 Body						
Definition							
Suppressed	No						
Type	Element Size	Sphere of Influence					
Element Size	0,1 m	2,e-002 m					
Behavior	Soft						
Sphere Center		Coordinate System	Coordinate System 2	Coordinate System 3	Coordinate System 4	Coordinate System 5	Coordinate System 6
Sphere Radius		0,45 m					

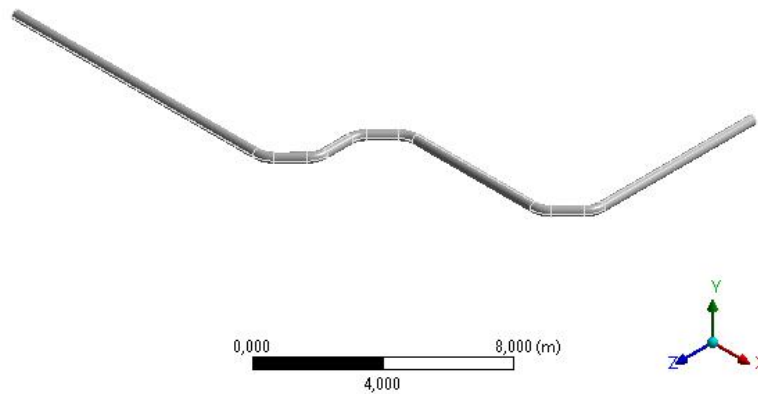
RUNNING CONVERGENCES





Project

First Saved	Monday, December 04, 2017
Last Saved	Thursday, December 07, 2017
Product Version	16.0 Release
Save Project Before Solution	No
Save Project After Solution	No



Units

TABLE 1

Unit System	Metric (m, kg, N, s, V, A) Degrees rad/s Celsius
Angle	Degrees
Rotational Velocity	rad/s
Temperature	Celsius

Geometry

TABLE 2 Model (F4) > Geometry

Object Name	Geometry
State	Fully Defined
Definition	
Source	D:\4314100042 - TA AZZAM\ANSYS\Z TYPE\Z TYPE_files\dp0\FFF-2\DM\FFF-2.agdb
Type	DesignModeler
Length Unit	Meters
Element Control	Program Controlled
Display Style	Body Color
Bounding Box	
Length X	20,067 m
Length Y	0,3556 m
Length Z	12,178 m
Properties	
Volume	0,55174 m ³
Mass	4331,2 kg
Scale Factor Value	1,

Statistics	
Bodies	2
Active Bodies	1
Nodes	156326
Elements	22704
Mesh Metric	None
Basic Geometry Options	
Parameters	Yes
Parameter Key	DS
Attributes	No
Named Selections	No
Material Properties	No
Advanced Geometry Options	
Use Associativity	Yes
Coordinate Systems	No
Reader Mode Saves Updated File	No
Use Instances	Yes
Smart CAD Update	No
Compare Parts On Update	No
Attach File Via Temp File	Yes
Temporary Directory	C:\Users\RWP2\AppData\Local\Temp
Analysis Type	3-D
Decompose Disjoint Geometry	Yes
Enclosure and Symmetry Processing	Yes

TABLE 3 Model (F4) > Geometry > Parts

Object Name	<i>Solid</i>	<i>Fluid</i>
State	Meshed	Suppressed
Graphics Properties		
Visible	Yes	No
Glow	0	
Shininess	1	
Transparency	1	
Specularity	1	
Definition		
Suppressed	No	Yes
ID (Beta)	16	65
Stiffness Behavior	Flexible	
Coordinate System	Default Coordinate System	
Reference Temperature	By Environment	
Material		
Assignment	Structural Steel	
Nonlinear Effects	Yes	
Thermal Strain Effects	Yes	
Bounding Box		
Length X	20,067 m	20,049 m

Length Y	0,3556 m	0,3206 m
Length Z	12,178 m	12,16 m
Properties		
Volume	0,55174 m ³	2,3961 m ³
Mass	4331,2 kg	
Centroid X	12,538 m	12,535 m
Centroid Y	-8,8273e-005 m	1,0056e-005 m
Centroid Z	-3,3145 m	-3,3136 m
Moment of Inertia Ip1	11308 kg·m ²	
Moment of Inertia Ip2	2,2306e+005 kg·m ²	
Moment of Inertia Ip3	2,1187e+005 kg·m ²	
Statistics		
Nodes	156326	0
Elements	22704	0
Mesh Metric	None	

Coordinate Systems

TABLE 4 Model (F4) > Coordinate Systems > Coordinate System

Object Name	Global Coordinate System	Coordinate System	Coordinate System 2	Coordinate System 3	Coordinate System 4	Coordinate System 5	Coordinate System 6
State	Fully Defined						
Definition							
Type	Cartesian						
Coordinate System ID	0,						
Coordinate System		Program Controlled					
Suppressed		No					
Origin							
Origin X	0, m	19,832 m	18,719 m	13,059 m	11,946 m	11,832 m	10,719 m
Origin Y	0, m	0,11288 m	0,11287 m	0,11283 m		0,11287 m	
Origin Z	0, m	-5,17 m	-4,0569 m	-3,9432 m	-2,83 m	-1,17 m	-5,6886e-002 m
Define By		Geometry Selection					
Geometry		Defined					
Directional Vectors							
X Axis Data	[1, 0, 0,]						
Y Axis Data	[0, 1, 0,]						
Z Axis Data	[0, 0, 1,]						
Principal Axis							
Axis		X					
Define By		Global X Axis					
Orientation About Principal Axis							
Axis		Y					
Define By		Default					
Transformations							
Base Configuration		Absolute					

Transformed Configuration		[19,832 0,11288 -5,17]	[18,719 0,11287 -4,0569]	[13,059 0,11283 -3,9432]	[11,946 0,11283 -2,83]	[11,832 0,11287 -1,17]	[10,719 0,11287 - 5,6886e- 002]
---------------------------	--	--------------------------------	----------------------------------	----------------------------------	--------------------------------	--------------------------------	--

Mesh

TABLE 5 Model (F4) > Mesh

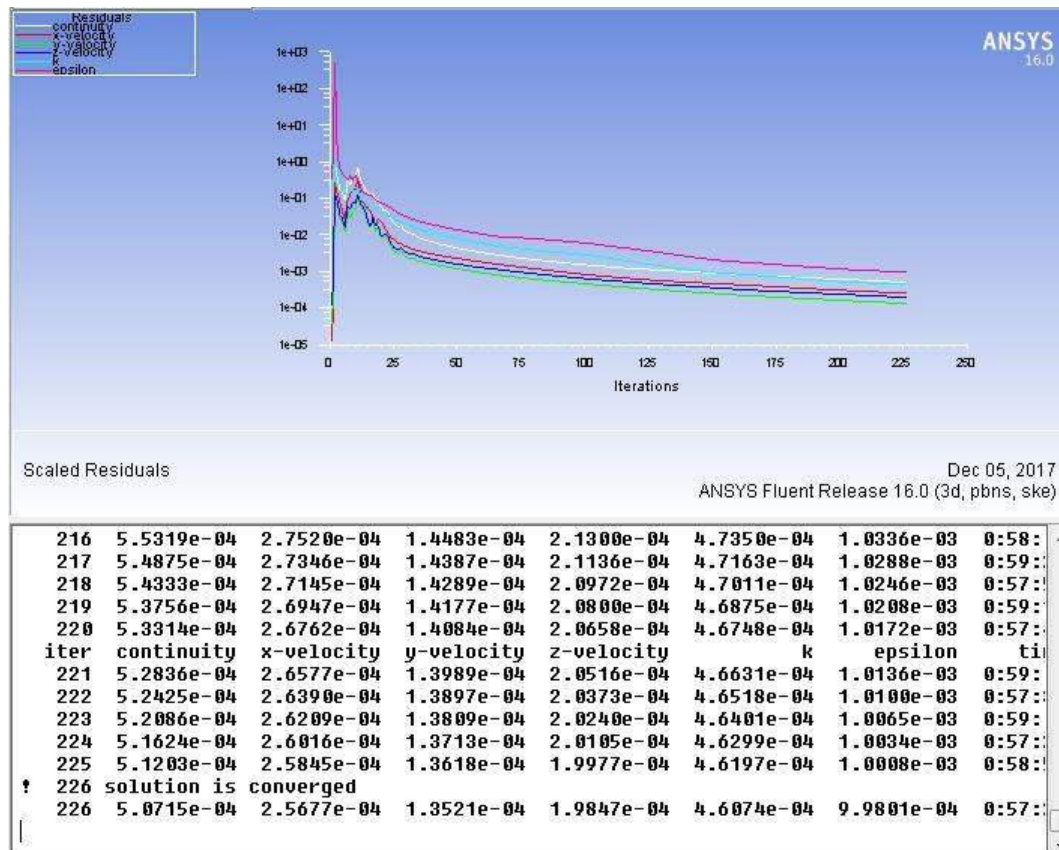
Object Name	Mesh
State	Solved
Display	
Display Style	Body Color
Defaults	
Physics Preference	Mechanical
Relevance	0
Sizing	
Use Advanced Size Function	Off
Relevance Center	Coarse
Element Size	Default
Initial Size Seed	Active Assembly
Smoothing	Medium
Transition	Fast
Span Angle Center	Coarse
Minimum Edge Length	0,25180 m
Inflation	
Use Automatic Inflation	None
Inflation Option	Smooth Transition
Transition Ratio	0,272
Maximum Layers	5
Growth Rate	1,2
Inflation Algorithm	Pre
View Advanced Options	No
Patch Conforming Options	
Triangle Surface Mesher	Program Controlled
Patch Independent Options	
Topology Checking	No
Advanced	
Number of CPUs for Parallel Part Meshing	Program Controlled
Shape Checking	Standard Mechanical
Element Midside Nodes	Program Controlled
Straight Sided Elements	No
Number of Retries	Default (4)
Extra Retries For Assembly	Yes
Rigid Body Behavior	Dimensionally Reduced
Mesh Morphing	Disabled
Defeaturing	
Pinch Tolerance	Please Define
Generate Pinch on Refresh	No
Automatic Mesh Based Defeaturing	On
Defeaturing Tolerance	Default
Statistics	
Nodes	156326

Elements	22704
Mesh Metric	None

TABLE 6 Model (F4) > Mesh > Mesh Controls

Object Name	Body Sizing	Body Sizing 2	Body Sizing 3	Body Sizing 4	Body Sizing 5	Body Sizing 6	Body Sizing 7
State	Fully Defined						
Scope							
Scoping Method	Geometry Selection						
Geometry	1 Body						
Definition							
Suppressed	No						
Type	Element Size	Sphere of Influence					
Element Size	0,1 m	2,e-002 m					
Behavior	Soft						
Sphere Center		Coordinate System	Coordinate System 2	Coordinate System 3	Coordinate System 4	Coordinate System 5	Coordinate System 6
Sphere Radius		0,45 m					

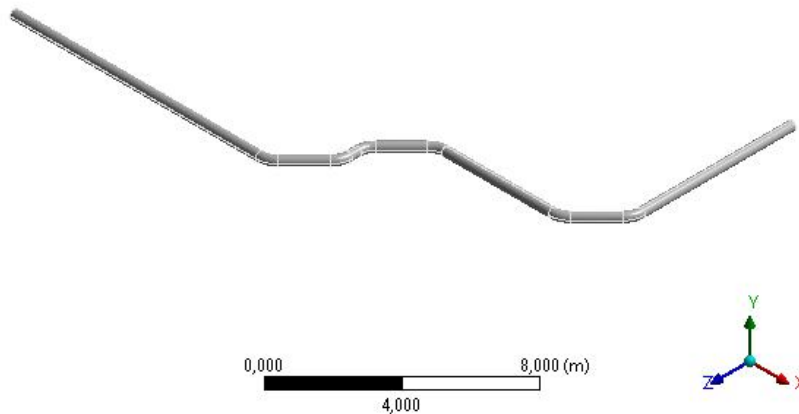
RUNNING CONVERGENCES





Project

First Saved	Monday, December 04, 2017
Last Saved	Thursday, December 07, 2017
Product Version	16.0 Release
Save Project Before Solution	No
Save Project After Solution	No



Units

TABLE 1

Unit System	Metric (m, kg, N, s, V, A) Degrees rad/s Celsius
Angle	Degrees
Rotational Velocity	rad/s
Temperature	Celsius

Geometry

TABLE 2 Model (H4) > Geometry

Object Name	Geometry
State	Fully Defined
Definition	
Source	D:\4314100042 - TA AZZAM\ANSYS\Z TYPE\Z TYPE_files\dp0\FFF-3\DM\FFF-3.agdb
Type	DesignModeler
Length Unit	Meters
Element Control	Program Controlled
Display Style	Body Color
Bounding Box	
Length X	20,067 m
Length Y	0,3556 m
Length Z	12,178 m
Properties	
Volume	0,54019 m ³
Mass	4240,5 kg

Scale Factor Value	1,
Statistics	
Bodies	2
Active Bodies	1
Nodes	152562
Elements	21761
Mesh Metric	None
Basic Geometry Options	
Parameters	Yes
Parameter Key	DS
Attributes	No
Named Selections	No
Material Properties	No
Advanced Geometry Options	
Use Associativity	Yes
Coordinate Systems	No
Reader Mode Saves Updated File	No
Use Instances	Yes
Smart CAD Update	No
Compare Parts On Update	No
Attach File Via Temp File	Yes
Temporary Directory	C:\Users\RWP2\AppData\Local\Temp
Analysis Type	3-D
Decompose Disjoint Geometry	Yes
Enclosure and Symmetry Processing	Yes

TABLE 3 Model (H4) > Geometry > Parts

TABLE 6 Model (14) > Geometry > Parts		
Object Name	<i>Solid</i>	<i>Fluid</i>
State	Meshed	Suppressed
Graphics Properties		
Visible	Yes	No
Glow	0	
Shininess	1	
Transparency	1	
Specularity	1	
Definition		
Suppressed	No	Yes
ID (Beta)	16	48
Stiffness Behavior	Flexible	
Coordinate System	Default Coordinate System	
Reference Temperature	By Environment	
Material		
Assignment	Structural Steel	
Nonlinear Effects	Yes	
Thermal Strain Effects	Yes	
Bounding Box		

Length X	20,067 m	20,049 m
Length Y	0,3556 m	0,3206 m
Length Z	12,178 m	12,16 m
Properties		
Volume	0,54019 m³	2,346 m³
Mass	4240,5 kg	
Centroid X	12,489 m	12,486 m
Centroid Y	1,8379e-005 m	9,9332e-006 m
Centroid Z	-3,3349 m	-3,3337 m
Moment of Inertia Ip1	10651 kg.m²	
Moment of Inertia Ip2	2,2067e+005 kg.m²	
Moment of Inertia Ip3	2,1014e+005 kg.m²	
Statistics		
Nodes	152562	0
Elements	21761	0
Mesh Metric	None	

Coordinate Systems

TABLE 4 Model (H4) > Coordinate Systems > Coordinate System

Object Name	Global Coordinate System	Coordinate System	Coordinate System 2	Coordinate System 3	Coordinate System 4	Coordinate System 5	Coordinate System 6
State	Fully Defined						
Definition							
Type	Cartesian						
Coordinate System ID	0,						
Coordinate System		Program Controlled					
Suppressed		No					
Origin							
Origin X	0, m	19,832 m	18,365 m	13,413 m	11,946 m	11,832 m	10,365 m
Origin Y	0, m	0,11287 m		0,11282 m		0,11287 m	0,11288 m
Origin Z	0, m	-5,5236 m	-4,0569 m	-3,9432 m	-2,4764 m	-1,5236 m	-5,6885e-002 m
Define By	Geometry Selection						
Geometry		Defined					
Directional Vectors							
X Axis Data	[1, 0, 0,]						
Y Axis Data	[0, 1, 0,]						
Z Axis Data	[0, 0, 1,]						
Principal Axis							
Axis		X					
Define By		Global X Axis					
Orientation About Principal Axis							
Axis		Y					
Define By		Default					
Transformations							
Base Configuration		Absolute					
Transformed Configuration		[19,832 0,11287 - 5,5236]	[18,365 0,11287 - 4,0569]	[13,413 0,11282 - 3,9432]	[11,946 0,11282 - 2,4764]	[11,832 0,11287 - 1,5236]	[10,365 0,11288 -

							5,6885e-002]
--	--	--	--	--	--	--	---------------

Mesh

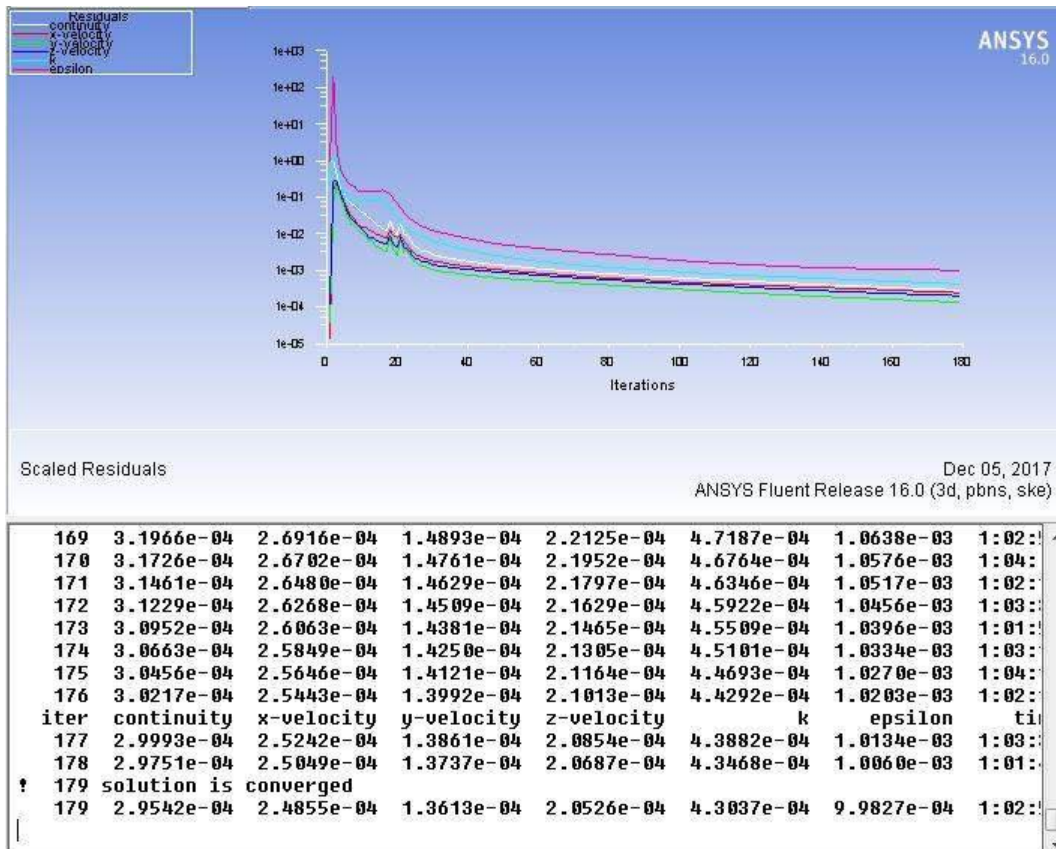
TABLE 5 Model (H4) > Mesh

Object Name	Mesh
State	Solved
Display	
Display Style	Body Color
Defaults	
Physics Preference	Mechanical
Relevance	0
Sizing	
Use Advanced Size Function	Off
Relevance Center	Coarse
Element Size	Default
Initial Size Seed	Active Assembly
Smoothing	Medium
Transition	Fast
Span Angle Center	Coarse
Minimum Edge Length	0,25180 m
Inflation	
Use Automatic Inflation	None
Inflation Option	Smooth Transition
Transition Ratio	0,272
Maximum Layers	5
Growth Rate	1,2
Inflation Algorithm	Pre
View Advanced Options	No
Patch Conforming Options	
Triangle Surface Mesher	Program Controlled
Patch Independent Options	
Topology Checking	No
Advanced	
Number of CPUs for Parallel Part Meshing	Program Controlled
Shape Checking	Standard Mechanical
Element Midside Nodes	Program Controlled
Straight Sided Elements	No
Number of Retries	Default (4)
Extra Retries For Assembly	Yes
Rigid Body Behavior	Dimensionally Reduced
Mesh Morphing	Disabled
Defeaturing	
Pinch Tolerance	Please Define
Generate Pinch on Refresh	No
Automatic Mesh Based Defeaturing	On
Defeaturing Tolerance	Default
Statistics	
Nodes	152562
Elements	21761
Mesh Metric	None

TABLE 6 Model (H4) > Mesh > Mesh Controls

Object Name	Body Sizing	Body Sizing 2	Body Sizing 3	Body Sizing 4	Body Sizing 5	Body Sizing 6	Body Sizing 7
State	Fully Defined						
Scope							
Scoping Method	Geometry Selection						
Geometry	1 Body						
Definition							
Suppressed	No						
Type	Element Size	Sphere of Influence					
Element Size	0,1 m	2,e-002 m					
Behavior	Soft						
Sphere Center		Coordinate System	Coordinate System 2	Coordinate System 3	Coordinate System 4	Coordinate System 5	Coordinate System 6
Sphere Radius		0,45 m					

RUNNING CONVERGENCES



Pipe Stress Analysis and Design Program

Version: 09.06.00.15

Edition: Advanced

Developed and Maintained by

BENTLEY SYSTEMS, INCORPORATED
1600 Riviera Ave., Suite 300
Walnut Creek, CA 94596

L90
01/20/2018 ZAWTIKA PIPELINE PROJECT BENTLEY
11:25 AM WP09 TO WP07 AutoPIPE Advanced 9.6.0.15

**
** AUTOPIPE SYSTEM INFORMATION **
**

SYSTEM NAME : L90

PROJECT ID : ZAWTIKA PROJECT
WP09 TO WP07

PREPARED BY : _____

CHECKED BY : _____

1ST APPROVER : _____

2ND APPROVER : _____

PIPING CODE : B31.8 Offshore

YEAR : 2007

VERTICAL AXIS : Z

AMBIENT TEMPERATURE : 26.5 deg C

COMPONENT LIBRARY : AUTOPIPE

MATERIAL LIBRARY : AUTOB318

MODEL REVISION NUMBER : 9

L90
01/20/2018 ZAWTIKA PIPELINE PROJECT BENTLEY
11:25 AM WP09 TO WP07 AutoPIPE Advanced 9.6.0.15

D E S C R I P T I O N

Operation Corroded, Normal Length, Best Estimate Soil Properties

L90

01/20/2018 ZAWTIKA PIPELINE PROJECT

BENTLEY

11:25 AM WP09 TO WP07

AutoPIPE Advanced 9.6.0.15

R E S U L T S U M M A R Y

Maximum displacements (mm)

Maximum X :	-0.041	Point : A50	Load Comb.: GT1P1{1}
Maximum Y :	-0.072	Point : A49 N	Load Comb.: GT1P1{1}
Maximum Z :	-3.310	Point : A49 N	Load Comb.: Gravity{1}
Max. total:	3.311	Point : A49	Load Comb.: GT1P1{1}

Maximum rotations (deg)

Maximum X :	-0.152	Point : A30	Load Comb.: Gravity{1}
Maximum Y :	0.081	Point : A38	Load Comb.: GT1P1{1}
Maximum Z :	-3.463	Point : A44	Load Comb.: GT1P1{1}
Max. total:	3.464	Point : A44	Load Comb.: GT1P1{1}

L90

01/20/2018 ZAWTIKA PIPELINE PROJECT

BENTLEY

11:25 AM WP09 TO WP07

AutoPIPE Advanced 9.6.0.15

R E S U L T S U M M A R Y

Maximum Hoop stress ratio

Point	:	A50
Stress N/mm2	:	33
Allowable N/mm2	:	225
Ratio	:	0.15
Load combination	:	Max P{1}

Maximum Longitudinal stress ratio

Point	:	A49 N
Stress N/mm2	:	278
Allowable N/mm2	:	360
Ratio	:	0.77
Load combination	:	GRTP1{1}

Maximum Combined stress ratio

Point	:	A49 N
Stress N/mm2	:	275
Allowable N/mm2	:	405
Ratio	:	0.68
Load combination	:	GRTP1{1}

Pipe Stress Analysis and Design Program

Version: 09.06.00.15

Edition: Advanced

Developed and Maintained by

BENTLEY SYSTEMS, INCORPORATED
1600 Riviera Ave., Suite 300
Walnut Creek, CA 94596

L45A
01/20/2018 ZAWTIKA PIPELINE PROJECT BENTLEY
11:25 AM WP09 TO WP07 AutoPIPE Advanced 9.6.0.15

**
** AUTOPIPE SYSTEM INFORMATION **
**

SYSTEM NAME : L45A

PROJECT ID : ZAWTIKA PROJECT
WP09 TO WP07

PREPARED BY : _____

CHECKED BY : _____

1ST APPROVER : _____

2ND APPROVER : _____

PIPING CODE : B31.8 Offshore

YEAR : 2007

VERTICAL AXIS : Z

AMBIENT TEMPERATURE : 26.5 deg C

COMPONENT LIBRARY : AUTOPIPE

MATERIAL LIBRARY : AUTOB318

MODEL REVISION NUMBER : 9

L45A
01/20/2018 ZAWTIKA PIPELINE PROJECT BENTLEY
11:25 AM WP09 TO WP07 AutoPIPE Advanced 9.6.0.15

D E S C R I P T I O N

Operation Corroded, Normal Length, Best Estimate Soil Properties

L45A

01/20/2018 ZAWTIKA PIPELINE PROJECT

BENTLEY

11:25 AM WP09 TO WP07

AutoPIPE Advanced 9.6.0.15

R E S U L T S U M M A R Y

Maximum displacements (mm)

Maximum X :	-0.187	Point : A46 F	Load Comb.: GT1P1{1}
Maximum Y :	-0.060	Point : A47 F	Load Comb.: GT1P1{1}
Maximum Z :	-3.192	Point : A49 F	Load Comb.: Gravity{1}
Max. total:	3.205	Point : A50	Load Comb.: GT1P1{1}

Maximum rotations (deg)

Maximum X :	-0.163	Point : JB08F	Load Comb.: GT1P1{1}
Maximum Y :	0.091	Point : JB10F	Load Comb.: GT1P1{1}
Maximum Z :	-3.391	Point : A44	Load Comb.: GT1P1{1}
Max. total:	3.392	Point : A44	Load Comb.: GT1P1{1}

L45A

01/20/2018 ZAWTIKA PIPELINE PROJECT

BENTLEY

11:25 AM WP09 TO WP07

AutoPIPE Advanced 9.6.0.15

R E S U L T S U M M A R Y

Maximum Hoop stress ratio

Point	:	A50
Stress N/mm2	:	33
Allowable N/mm2	:	225
Ratio	:	0.15
Load combination	:	Max P{1}

Maximum Longitudinal stress ratio

Point	:	A46 F
Stress N/mm2	:	247
Allowable N/mm2	:	360
Ratio	:	0.69
Load combination	:	GRTP1{1}

Maximum Combined stress ratio

Point	:	A46 F
Stress N/mm2	:	244
Allowable N/mm2	:	405
Ratio	:	0.60
Load combination	:	GRTP1{1}

Pipe Stress Analysis and Design Program

Version: 09.06.00.15

Edition: Advanced

Developed and Maintained by

BENTLEY SYSTEMS, INCORPORATED
1600 Riviera Ave., Suite 300
Walnut Creek, CA 94596

L45B
01/20/2018 ZAWTIKA PIPELINE PROJECT BENTLEY
11:25 AM WP09 TO WP07 AutoPIPE Advanced 9.6.0.15

**
** AUTOPIPE SYSTEM INFORMATION **
**

SYSTEM NAME : L45B

PROJECT ID : ZAWTIKA PROJECT
WP09 TO WP07

PREPARED BY : _____

CHECKED BY : _____

1ST APPROVER : _____

2ND APPROVER : _____

PIPING CODE : B31.8 Offshore

YEAR : 2007

VERTICAL AXIS : Z

AMBIENT TEMPERATURE : 26.5 deg C

COMPONENT LIBRARY : AUTOPIPE

MATERIAL LIBRARY : AUTOB318

MODEL REVISION NUMBER : 9

L45B
01/20/2018 ZAWTIKA PIPELINE PROJECT BENTLEY
11:25 AM WP09 TO WP07 AutoPIPE Advanced 9.6.0.15

D E S C R I P T I O N

Operation Corroded, Normal Length, Best Estimate Soil Properties

L45B

01/20/2018 ZAWTIKA PIPELINE PROJECT

BENTLEY

11:25 AM WP09 TO WP07

AutoPIPE Advanced 9.6.0.15

R E S U L T S U M M A R Y

Maximum displacements (mm)

Maximum X :	-0.241	Point : A44	Load Comb.: GT1P1{1}
Maximum Y :	-0.051	Point : A47 F	Load Comb.: GT1P1{1}
Maximum Z :	3.233	Point : A50	Load Comb.: Gravity{1}
Max. total:	3.235	Point : A49	Load Comb.: GT1P1{1}

Maximum rotations (deg)

Maximum X :	-0.163	Point : JB08F	Load Comb.: GT1P1{1}
Maximum Y :	0.091	Point : JB10F	Load Comb.: GT1P1{1}
Maximum Z :	-3.391	Point : A44	Load Comb.: GT1P1{1}
Max. total:	3.392	Point : A44	Load Comb.: GT1P1{1}

L45B

01/20/2018 ZAWTIKA PIPELINE PROJECT

BENTLEY

11:25 AM WP09 TO WP07

AutoPIPE Advanced 9.6.0.15

R E S U L T S U M M A R Y

Maximum Hoop stress ratio

Point	:	A50
Stress N/mm2	:	33
Allowable N/mm2	:	225
Ratio	:	0.15
Load combination	:	Max P{1}

Maximum Longitudinal stress ratio

Point	:	A47
Stress N/mm2	:	223
Allowable N/mm2	:	360
Ratio	:	0.62
Load combination	:	GRTP1{1}

Maximum Combined stress ratio

Point	:	A49 + 1
Stress N/mm2	:	206
Allowable N/mm2	:	405
Ratio	:	0.50
Load combination	:	GRTP1{1}

Pipe Stress Analysis and Design Program

Version: 09.06.00.15

Edition: Advanced

Developed and Maintained by

BENTLEY SYSTEMS, INCORPORATED
1600 Riviera Ave., Suite 300
Walnut Creek, CA 94596

L45C
01/20/2018 ZAWTIKA PIPELINE PROJECT BENTLEY
11:25 AM WP09 TO WP07 AutoPIPE Advanced 9.6.0.15

**
** AUTOPIPE SYSTEM INFORMATION **
**

SYSTEM NAME : L45C

PROJECT ID : ZAWTIKA PROJECT
WP09 TO WP07

PREPARED BY : _____

CHECKED BY : _____

1ST APPROVER : _____

2ND APPROVER : _____

PIPING CODE : B31.8 Offshore

YEAR : 2007

VERTICAL AXIS : Z

AMBIENT TEMPERATURE : 26.5 deg C

COMPONENT LIBRARY : AUTOPIPE

MATERIAL LIBRARY : AUTOB318

MODEL REVISION NUMBER : 9

L45C
01/20/2018 ZAWTIKA PIPELINE PROJECT BENTLEY
11:25 AM WP09 TO WP07 AutoPIPE Advanced 9.6.0.15

D E S C R I P T I O N

Operation Corroded, Normal Length, Best Estimate Soil Properties

```
-----
L45C
01/20/2018 ZAWTIKA PIPELINE PROJECT          BENTLEY
11:25 AM   WP09 TO WP07                      AutoPIPE Advanced 9.6.0.15
-----
```

R E S U L T S U M M A R Y

Maximum displacements (mm)

```
-----
Maximum X :    -0.250    Point : A44          Load Comb.: GT1P1{1}
Maximum Y :    -0.299    Point : A41          Load Comb.: GT1P1{1}
Maximum Z :    -3.345    Point : A45          Load Comb.: Gravity{1}
Max. total:  1169.026    Point : A45          Load Comb.: GT1P1{1}
```

Maximum rotations (deg)

```
-----
Maximum X :    -0.163    Point : JB08F        Load Comb.: GT1P1{1}
Maximum Y :     0.091    Point : JB10F        Load Comb.: GT1P1{1}
Maximum Z :    -3.391    Point : A44          Load Comb.: GT1P1{1}
Max. total:     3.392    Point : A44          Load Comb.: GT1P1{1}
```

```
-----
L45C
01/20/2018 ZAWTIKA PIPELINE PROJECT          BENTLEY
11:25 AM   WP09 TO WP07                      AutoPIPE Advanced 9.6.0.15
-----
```

R E S U L T S U M M A R Y

Maximum Hoop stress ratio

```
Point          : A50
Stress      N/mm2 : 33
Allowable N/mm2 : 225
Ratio       : 0.15
Load combination : Max P{1}
```

Maximum Longitudinal stress ratio

```
Point          : A50 +
Stress      N/mm2 : 195
Allowable N/mm2 : 360
Ratio       : 0.48
Load combination : GRTP1{1}
```

Maximum Combined stress ratio

```
Point          : A50
Stress      N/mm2 : 178
Allowable N/mm2 : 405
Ratio       : 0.39
Load combination : GRTP1{1}
```

Pipe Stress Analysis and Design Program

Version: 09.06.00.15

Edition: Advanced

Developed and Maintained by

BENTLEY SYSTEMS, INCORPORATED
1600 Riviera Ave., Suite 300
Walnut Creek, CA 94596

U90
01/20/2018 ZAWTIKA PIPELINE PROJE BENTLEY
11:25 AM WP09 TO WP07 AutoPIPE Advanced 9.6.0.15

**
** AUTOPIPE SYSTEM INFORMATION **
**

SYSTEM NAME : U90

PROJECT ID : ZAWTIKA PROJECT
WP09 TO WP07

PREPARED BY : _____

CHECKED BY : _____

1ST APPROVER : _____

2ND APPROVER : _____

PIPING CODE : B31.8 Offshore

YEAR : 2007

VERTICAL AXIS : Z

AMBIENT TEMPERATURE : 26.5 deg C

COMPONENT LIBRARY : AUTOPIPE

MATERIAL LIBRARY : AUTOB318

MODEL REVISION NUMBER : 9

U90
01/20/2018 ZAWTIKA PIPELINE PROJECT BENTLEY
11:25 AM WP09 TO WP07 AutoPIPE Advanced 9.6.0.15

D E S C R I P T I O N

Operation Corroded, Normal Length, Best Estimate Soil Properties

U90

01/20/2018 ZAWTIKA PIPELINE PROJECT

BENTLEY

11:25 AM WP09 TO WP07

AutoPIPE Advanced 9.6.0.15

R E S U L T S U M M A R Y

Maximum displacements (mm)

Maximum X :	-0.191	Point : A44	Load Comb.: GT1P1{1}
Maximum Y :	-0.106	Point : A47 N	Load Comb.: GT1P1{1}
Maximum Z :	-17.076	Point : A48	Load Comb.: GT1P1{1}
Max. total:	17.077	Point : A47	Load Comb.: GT1P1{1}

Maximum rotations (deg)

Maximum X :	0.658	Point : A28	Load Comb.: GU3{1}
Maximum Y :	0.694	Point : A28	Load Comb.: GU4{1}
Maximum Z :	-3.675	Point : A44	Load Comb.: GT1P1{1}
Max. total:	3.675	Point : A44	Load Comb.: GT1P1{1}

U90

01/20/2018 ZAWTIKA PIPELINE PROJECT

BENTLEY

11:25 AM WP09 TO WP07

AutoPIPE Advanced 9.6.0.15

R E S U L T S U M M A R Y

Maximum Hoop stress ratio

Point	:	A50
Stress N/mm2	:	132
Allowable N/mm2	:	225
Ratio	:	0.59
Load combination	:	Max P{1}

Maximum Longitudinal stress ratio

Point	:	A48 N + 1
Stress N/mm2	:	289
Allowable N/mm2	:	360
Ratio	:	0.80
Load combination	:	GRTP1{1}

Maximum Combined stress ratio

Point	:	A48 N + 1
Stress N/mm2	:	270
Allowable N/mm2	:	405
Ratio	:	0.67
Load combination	:	GRTP1{1}

Pipe Stress Analysis and Design Program

Version: 09.06.00.15

Edition: Advanced

Developed and Maintained by

BENTLEY SYSTEMS, INCORPORATED
1600 Riviera Ave., Suite 300
Walnut Creek, CA 94596

U45A
01/20/2018 ZAWTIKA PIPELINE PROJECT BENTLEY
11:25 AM WP09 TO WP07 AutoPIPE Advanced 9.6.0.15

**
** AUTOPIPE SYSTEM INFORMATION **
**

SYSTEM NAME : U45A

PROJECT ID : ZAWTIKA PROJECT
WP09 TO WP07

PREPARED BY : _____

CHECKED BY : _____

1ST APPROVER : _____

2ND APPROVER : _____

PIPING CODE : B31.8 Offshore

YEAR : 2007

VERTICAL AXIS : Z

AMBIENT TEMPERATURE : 26.5 deg C

COMPONENT LIBRARY : AUTOPIPE

MATERIAL LIBRARY : AUTOB318

MODEL REVISION NUMBER : 9

U45A
01/20/2018 ZAWTIKA PIPELINE PROJECT BENTLEY
11:25 AM WP09 TO WP07 AutoPIPE Advanced 9.6.0.15

D E S C R I P T I O N

Operation Corroded, Normal Length, Best Estimate Soil Properties

U45A

01/20/2018 ZAWTIKA PIPELINE PROJECT

BENTLEY

11:25 AM WP09 TO WP07

AutoPIPE Advanced 9.6.0.15

R E S U L T S U M M A R Y

Maximum displacements (mm)

Maximum X :	-0.191	Point : A42	Load Comb.: GT1P1{1}
Maximum Y :	-0.114	Point : A49 N	Load Comb.: GT1P1{1}
Maximum Z :	4.452	Point : F52	Load Comb.: GT1P1{1}
Max. total:	4.457	Point : A51	Load Comb.: GT1P1{1}

Maximum rotations (deg)

Maximum X :	0.658	Point : A28	Load Comb.: GU3{1}
Maximum Y :	0.694	Point : A28	Load Comb.: GU4{1}
Maximum Z :	-3.675	Point : A44	Load Comb.: GT1P1{1}
Max. total:	3.675	Point : A44	Load Comb.: GT1P1{1}

U45A

01/20/2018 ZAWTIKA PIPELINE PROJECT

BENTLEY

11:25 AM WP09 TO WP07

AutoPIPE Advanced 9.6.0.15

R E S U L T S U M M A R Y

Maximum Hoop stress

Point	:	A49
Stress N/mm2	:	156
Allowable N/mm2	:	225
Ratio	:	0.69
Load combination	:	Max P{1}

Maximum Longitudinal stress

Point	:	JB11M
Stress N/mm2	:	350
Allowable N/mm2	:	360
Ratio	:	0.97
Load combination	:	GRTP1+U2{1}

Maximum Combined stress

Point	:	JB11M
Stress N/mm2	:	313
Allowable N/mm2	:	405
Ratio	:	0.77
Load combination	:	GRTP1+U2{1}

Pipe Stress Analysis and Design Program

Version: 09.06.00.15

Edition: Advanced

Developed and Maintained by

BENTLEY SYSTEMS, INCORPORATED
1600 Riviera Ave., Suite 300
Walnut Creek, CA 94596

U45B
01/20/2018 ZAWTIKA PIPELINE PROJECT BENTLEY
11:25 AM WP09 TO WP07 AutoPIPE Advanced 9.6.0.15

**
** AUTOPIPE SYSTEM INFORMATION **
**

SYSTEM NAME : U45B

PROJECT ID : ZAWTIKA PROJECT
WP09 TO WP07

PREPARED BY : _____

CHECKED BY : _____

1ST APPROVER : _____

2ND APPROVER : _____

PIPING CODE : B31.8 Offshore

YEAR : 2007

VERTICAL AXIS : Z

AMBIENT TEMPERATURE : 26.5 deg C

COMPONENT LIBRARY : AUTOPIPE

MATERIAL LIBRARY : AUTOB318

MODEL REVISION NUMBER : 9

U45B
01/20/2018 ZAWTIKA PIPELINE PROJECT BENTLEY
11:25 AM WP09 TO WP07 AutoPIPE Advanced 9.6.0.15

D E S C R I P T I O N

Operation Corroded, Normal Length, Best Estimate Soil Properties

U45B

01/20/2018 ZAWTIKA PIPELINE PROJECT

BENTLEY

11:25 AM WP09 TO WP07

AutoPIPE Advanced 9.6.0.15

R E S U L T S U M M A R Y

Maximum displacements (mm)

Maximum X :	-0.192	Point : A42	Load Comb.: GT1P1{1}
Maximum Y :	-0.116	Point : A49 N	Load Comb.: GT1P1{1}
Maximum Z :	-3.339	Point : A47	Load Comb.: GT1P1{1}
Max. total:	3.446	Point : A47	Load Comb.: GT1P1{1}

Maximum rotations (deg)

Maximum X :	0.658	Point : A28	Load Comb.: GU3{1}
Maximum Y :	0.694	Point : A28	Load Comb.: GU4{1}
Maximum Z :	-3.675	Point : A44	Load Comb.: GT1P1{1}
Max. total:	3.675	Point : A44	Load Comb.: GT1P1{1}

U45B

01/20/2018 ZAWTIKA PIPELINE PROJECT

BENTLEY

11:25 AM WP09 TO WP07

AutoPIPE Advanced 9.6.0.15

R E S U L T S U M M A R Y

Maximum Hoop stress

Point	:	A49
Stress N/mm2	:	156
Allowable N/mm2	:	225
Ratio	:	0.69
Load combination	:	Max P{1}

Maximum Longitudinal stress

Point	:	JB11M
Stress N/mm2	:	350
Allowable N/mm2	:	360
Ratio	:	0.97
Load combination	:	GRTP1+U2{1}

Maximum Combined stress

Point	:	A49 F
Stress N/mm2	:	323
Allowable N/mm2	:	405
Ratio	:	0.80
Load combination	:	GRTP1

Pipe Stress Analysis and Design Program

Version: 09.06.00.15

Edition: Advanced

Developed and Maintained by

BENTLEY SYSTEMS, INCORPORATED
1600 Riviera Ave., Suite 300
Walnut Creek, CA 94596

U45C
01/20/2018 ZAWTIKA PIPELINE PROJECT BENTLEY
11:25 AM WP09 TO WP07 AutoPIPE Advanced 9.6.0.15

**
** AUTOPIPE SYSTEM INFORMATION **
**

SYSTEM NAME : U45C

PROJECT ID : ZAWTIKA PROJECT
WP09 TO WP07

PREPARED BY : _____

CHECKED BY : _____

1ST APPROVER : _____

2ND APPROVER : _____

PIPING CODE : B31.8 Offshore

YEAR : 2007

VERTICAL AXIS : Z

AMBIENT TEMPERATURE : 26.5 deg C

COMPONENT LIBRARY : AUTOPIPE

MATERIAL LIBRARY : AUTOB318

MODEL REVISION NUMBER : 9

U45C
01/20/2018 ZAWTIKA PIPELINE PROJECT BENTLEY
11:25 AM WP09 TO WP07 AutoPIPE Advanced 9.6.0.15

D E S C R I P T I O N

Operation Corroded, Normal Length, Best Estimate Soil Properties

U45C

01/20/2018 ZAWTIKA PIPELINE PROJECT

BENTLEY

11:25 AM WP09 TO WP07

AutoPIPE Advanced 9.6.0.15

R E S U L T S U M M A R Y

Maximum displacements (mm)

Maximum X :	-0.193	Point : A42	Load Comb.: GT1P1{1}
Maximum Y :	-0.106	Point : A46 F	Load Comb.: GT1P1{1}
Maximum Z :	-3.635	Point : A47	Load Comb.: GT1P1{1}
Max. total:	3.641	Point : A52	Load Comb.: GT1P1{1}

Maximum rotations (deg)

Maximum X :	0.658	Point : A28	Load Comb.: GU3{1}
Maximum Y :	0.694	Point : A28	Load Comb.: GU4{1}
Maximum Z :	-3.675	Point : A44	Load Comb.: GT1P1{1}
Max. total:	3.675	Point : A44	Load Comb.: GT1P1{1}

U45C

01/20/2018 ZAWTIKA PIPELINE PROJECT

BENTLEY

11:25 AM WP09 TO WP07

AutoPIPE Advanced 9.6.0.15

R E S U L T S U M M A R Y

Maximum Hoop stress

Point	:	A50
Stress N/mm2	:	33
Allowable N/mm2	:	225
Ratio	:	0.15
Load combination	:	Max P{1}

Maximum Longitudinal stress

Point	:	A49 F -
Stress N/mm2	:	354
Allowable N/mm2	:	360
Ratio	:	0.98
Load combination	:	GRTP1

Maximum Combined stress

Point	:	A49 F
Stress N/mm2	:	350
Allowable N/mm2	:	405
Ratio	:	0.86
Load combination	:	GRTP1

Pipe Stress Analysis and Design Program

Version: 09.06.00.15

Edition: Advanced

Developed and Maintained by

BENTLEY SYSTEMS, INCORPORATED
1600 Riviera Ave., Suite 300
Walnut Creek, CA 94596

Z90
01/20/2018 ZAWTIKA PIPELINE PROJECT BENTLEY
11:25 AM WP09 TO WP07 AutoPIPE Advanced 9.6.0.15

**
** AUTOPIPE SYSTEM INFORMATION **
**

SYSTEM NAME : Z90

PROJECT ID : ZAWTIKA PROJECT
WP09 TO WP07

PREPARED BY : _____

CHECKED BY : _____

1ST APPROVER : _____

2ND APPROVER : _____

PIPING CODE : B31.8 Offshore

YEAR : 2007

VERTICAL AXIS : Z

AMBIENT TEMPERATURE : 26.5 deg C

COMPONENT LIBRARY : AUTOPIPE

MATERIAL LIBRARY : AUTOB318

MODEL REVISION NUMBER : 9

Z90
01/20/2018 ZAWTIKA PIPELINE PROJECT BENTLEY
11:25 AM WP09 TO WP07 AutoPIPE Advanced 9.6.0.15

D E S C R I P T I O N

Operation Corroded, Normal Length, Best Estimate Soil Properties

Z90

01/20/2018 ZAWTIKA PIPELINE PROJECT

BENTLEY

11:25 AM WP09 TO WP07

AutoPIPE Advanced 9.6.0.15

R E S U L T S U M M A R Y

Maximum displacements (mm)

Maximum X :	-0.251	Point : A42	Load Comb.: GT1P1{1}
Maximum Y :	0.048	Point : A46 F	Load Comb.: GT1P1{1}
Maximum Z :	-13.167	Point : A48	Load Comb.: GT1P1{1}
Max. total:	13.169	Point : A48	Load Comb.: GT1P1{1}

Maximum rotations (deg)

Maximum X :	0.558	Point : A44	Load Comb.: GU3{1}
Maximum Y :	0.690	Point : A45	Load Comb.: GU4{1}
Maximum Z :	-3.550	Point : A44	Load Comb.: GT1P1{1}
Max. total:	3.551	Point : A45	Load Comb.: GT1P1{1}

Z90

01/20/2018 ZAWTIKA PIPELINE PROJECT

BENTLEY

11:25 AM WP09 TO WP07

AutoPIPE Advanced 9.6.0.15

R E S U L T S U M M A R Y

Maximum Hoop stress

Point	:	A50
Stress N/mm2	:	132
Allowable N/mm2	:	225
Ratio	:	0.59
Load combination	:	Max P{1}

Maximum Longitudinal stress

Point	:	A50
Stress N/mm2	:	309
Allowable N/mm2	:	360
Ratio	:	0.86
Load combination	:	GRTP1

Maximum Combined stress

Point	:	A49 F
Stress N/mm2	:	286
Allowable N/mm2	:	405
Ratio	:	0.71
Load combination	:	GRTP1

Pipe Stress Analysis and Design Program

Version: 09.06.00.15

Edition: Advanced

Developed and Maintained by

BENTLEY SYSTEMS, INCORPORATED
1600 Riviera Ave., Suite 300
Walnut Creek, CA 94596

Z45A
01/20/2018 ZAWTIKA PIPELINE PROJECT BENTLEY
11:25 AM WP09 TO WP07 AutoPIPE Advanced 9.6.0.15

**
** AUTOPIPE SYSTEM INFORMATION **
**

SYSTEM NAME : Z45A

PROJECT ID : ZAWTIKA PROJECT
WP09 TO WP07

PREPARED BY : _____

CHECKED BY : _____

1ST APPROVER : _____

2ND APPROVER : _____

PIPING CODE : B31.8 Offshore

YEAR : 2007

VERTICAL AXIS : Z

AMBIENT TEMPERATURE : 26.5 deg C

COMPONENT LIBRARY : AUTOPIPE

MATERIAL LIBRARY : AUTOB318

MODEL REVISION NUMBER : 9

Z45A
01/20/2018 ZAWTIKA PIPELINE PROJECT BENTLEY
11:25 AM WP09 TO WP07 AutoPIPE Advanced 9.6.0.15

DESCRIPTION

Operation Corroded, Normal Length, Best Estimate Soil Properties

Z45A
01/20/2018 ZAWTIKA PIPELINE PROJECT BENTLEY
11:25 AM WP09 TO WP07 AutoPIPE Advanced 9.6.0.15

R E S U L T S U M M A R Y

Maximum displacements (mm)

Maximum X :	-0.250	Point : A42	Load Comb.: GT1P1{1}
Maximum Y :	0.057	Point : A45 N	Load Comb.: GT1P1{1}
Maximum Z :	3.264	Point : A47	Load Comb.: GT1P1{1}
Max. total:	3.274	Point : A49	Load Comb.: GT1P1{1}

Maximum rotations (deg)

Maximum X :	0.608	Point : A42	Load Comb.: GU3{1}
Maximum Y :	0.494	Point : A42	Load Comb.: GU4{1}
Maximum Z :	-3.375	Point : A43	Load Comb.: GT1P1{1}
Max. total:	3.376	Point : A43	Load Comb.: GT1P1{1}

Z45A
01/20/2018 ZAWTIKA PIPELINE PROJECT BENTLEY
11:25 AM WP09 TO WP07 AutoPIPE Advanced 9.6.0.15

R E S U L T S U M M A R Y

Maximum Hoop stress

Point	:	A50
Stress N/mm2	:	33
Allowable N/mm2	:	225
Ratio	:	0.15
Load combination	:	Max P{1}

Maximum Longitudinal stress

Point	:	A50
Stress N/mm2	:	159
Allowable N/mm2	:	360
Ratio	:	0.44
Load combination	:	GRTP1

Maximum Combined stress

Point	:	A50
Stress N/mm2	:	253
Allowable N/mm2	:	405
Ratio	:	0.63
Load combination	:	GRTP1

Pipe Stress Analysis and Design Program

Version: 09.06.00.15

Edition: Advanced

Developed and Maintained by

BENTLEY SYSTEMS, INCORPORATED
1600 Riviera Ave., Suite 300
Walnut Creek, CA 94596

Z45B
01/20/2018 ZAWTIKA PIPELINE PROJECT BENTLEY
11:25 AM WP09 TO WP07 AutoPIPE Advanced 9.6.0.15

**
** AUTOPIPE SYSTEM INFORMATION **
**

SYSTEM NAME : Z45B

PROJECT ID : ZAWTIKA PROJECT
WP09 TO WP07

PREPARED BY : _____

CHECKED BY : _____

1ST APPROVER : _____

2ND APPROVER : _____

PIPING CODE : B31.8 Offshore

YEAR : 2007

VERTICAL AXIS : Z

AMBIENT TEMPERATURE : 26.5 deg C

COMPONENT LIBRARY : AUTOPIPE

MATERIAL LIBRARY : AUTOB318

MODEL REVISION NUMBER : 9

Z45B
01/20/2018 ZAWTIKA PIPELINE PROJECT BENTLEY
11:25 AM WP09 TO WP07 AutoPIPE Advanced 9.6.0.15

DESCRIPTION

Operation Corroded, Normal Length, Best Estimate Soil Properties

Z45B

01/20/2018 ZAWTIKA PIPELINE PROJECT
11:25 AM WP09 TO WP07

BENTLEY
AutoPIPE Advanced 9.6.0.15

R E S U L T S U M M A R Y

Maximum displacements (mm)

Maximum X :	-0.256	Point : A43 F	Load Comb.: GT1P1{1}
Maximum Y :	-0.165	Point : A41	Load Comb.: Gravity{1}
Maximum Z :	-11.899	Point : A47	Load Comb.: GT1P1{1}
Max. total:	11.903	Point : A47	Load Comb.: GT1P1{1}

Maximum rotations (deg)

Maximum X :	0.031	Point : A45	Load Comb.: GU3{1}
Maximum Y :	-0.053	Point : A47	Load Comb.: GU4{1}
Maximum Z :	-0.002	Point : A44	Load Comb.: GT1P1{1}
Max. total:	0.062	Point : A47	Load Comb.: GT1P1{1}

Z45B

01/20/2018 ZAWTIKA PIPELINE PROJECT
11:25 AM WP09 TO WP07

BENTLEY
AutoPIPE Advanced 9.6.0.15

R E S U L T S U M M A R Y

Maximum Hoop stress

Point	:	A50
Stress N/mm2	:	33
Allowable N/mm2	:	225
Ratio	:	0.15
Load combination	:	Max P{1}

Maximum Longitudinal stress

Point	:	A50
Stress N/mm2	:	258
Allowable N/mm2	:	360
Ratio	:	0.72
Load combination	:	GRTP1

Maximum Combined stress

Point	:	A50 +
Stress N/mm2	:	257
Allowable N/mm2	:	405
Ratio	:	0.64
Load combination	:	GRTP1

Pipe Stress Analysis and Design Program

Version: 09.06.00.15

Edition: Advanced

Developed and Maintained by

BENTLEY SYSTEMS, INCORPORATED
1600 Riviera Ave., Suite 300
Walnut Creek, CA 94596

Z45C
01/20/2018 ZAWTIKA PIPELINE PROJECT BENTLEY
11:25 AM WP09 TO WP07 AutoPIPE Advanced 9.6.0.15

**
** AUTOPIPE SYSTEM INFORMATION **
**

SYSTEM NAME : Z45C

PROJECT ID : ZAWTIKA PROJECT
WP09 TO WP07

PREPARED BY : _____

CHECKED BY : _____

1ST APPROVER : _____

2ND APPROVER : _____

PIPING CODE : B31.8 Offshore

YEAR : 2007

VERTICAL AXIS : Z

AMBIENT TEMPERATURE : 26.5 deg C

COMPONENT LIBRARY : AUTOPIPE

MATERIAL LIBRARY : AUTOB318

MODEL REVISION NUMBER : 9

Z45C
01/20/2018 ZAWTIKA PIPELINE PROJECT BENTLEY
11:25 AM WP09 TO WP07 AutoPIPE Advanced 9.6.0.15

D E S C R I P T I O N

Operation Corroded, Normal Length, Best Estimate Soil Properties

Z45C

01/20/2018 ZAWTIKA PIPELINE PROJECT

BENTLEY

11:25 AM WP09 TO WP07

AutoPIPE Advanced 9.6.0.15

R E S U L T S U M M A R Y

Maximum displacements (mm)

Maximum X :	-0.266	Point : A43 N	Load Comb.: Gravity{1}
Maximum Y :	0.066	Point : A43 N	Load Comb.: Gravity{1}
Maximum Z :	-12.763	Point : A48	Load Comb.: GT1P1{1}
Max. total:	12.782	Point : A48	Load Comb.: GT1P1{1}

Maximum rotations (deg)

Maximum X :	-0.121	Point : A48 F	Load Comb.: GU3{1}
Maximum Y :	-0.040	Point : A49	Load Comb.: GU4{1}
Maximum Z :	-0.002	Point : A45 F	Load Comb.: GT1P1{1}
Max. total:	0.127	Point : A47	Load Comb.: GT1P1{1}

Z45C

01/20/2018 ZAWTIKA PIPELINE PROJECT

BENTLEY

11:25 AM WP09 TO WP07

AutoPIPE Advanced 9.6.0.15

R E S U L T S U M M A R Y

Maximum Hoop stress

Point	:	A50
Stress N/mm2	:	33
Allowable N/mm2	:	225
Ratio	:	0.15
Load combination	:	Max P{1}

Maximum Longitudinal stress

Point	:	A50 +
Stress N/mm2	:	229
Allowable N/mm2	:	360
Ratio	:	0.88
Load combination	:	GRTP1

Maximum Combined stress

Point	:	A50 +
Stress N/mm2	:	262
Allowable N/mm2	:	405
Ratio	:	0.65
Load combination	:	GRTP1

BIODATA PENULIS



Moh. 'Azzam Nashrullah 'Ubaid lahir di Malang pada tanggal 17 Mei 1996. Penulis merupakan anak kedua dari 2 bersaudara. Penulis mempunyai orang tua yang bernama Moedjiantho Abdoel Hadi dan Siti Noorkhayati. Selain itu, penulis mempunyai saudara kandung bernama Syaishar Qoris Fadlullah Aisy. Pendidikan formal penulis dimulai dengan menyelesaikan jenjang pendidikan di SD Muhammadiyah 1 Malang pada tahun 2008, pendidikan menengah pertama di SMPN 1 Malang pada tahun 2011, pendidikan menengah atas di SMAN 5 Malang pada tahun 2014. Setelah menyelesaikan waktu studinya di SMA, penulis melanjutkan ke jenjang Pendidikan Tinggi Strata-1 di Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Sepuluh Nopember. Penulis diterima melalui jalur Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN) tahun 2014. Selama mahasiswa penulis aktif dalam berbagai kepanitiaan dan organisasi mahasiswa, juga dalam berbagai pelatihan, seminar, dan kegiatan lainnya. Dalam bidang organisasi kemahasiswaan, penulis pernah menjadi *staff* Departemen Pengembangan Sumber Daya Mahasiswa Himpunan Mahasiswa Teknik Kelautan FTK ITS periode 2015/2016 dan mendapatkan amanah sebagai Wakil Ketua Himpunan Mahasiswa Teknik Kelautan FTK ITS periode 2016/2017. Penulis juga merupakan anggota aktif Laboratorium Perencanaan dan Konstruksi Bangunan Laut. Penulis pernah berkesempatan untuk menjalankan kerja praktik selama 2 bulan di PT. Timas Suplindo, Jakarta Pusat pada tahun 2017. Penulis tertarik dengan bidang *pipeline* dan ingin mendalaminya. Penulis mulai mengerjakan Tugas Akhir sebagai syarat kelulusan Pendidikan Sarjana (S1) dengan mengambil bidang keahlian Perencanaan dan Perancangan Pipa Bawah Laut. Judul Tugas Akhir penulis adalah Analisis Aliran Fluida dan Tegangan pada *Pipeline* dengan Berbagai Variasi Tipe *Expansion Loop*. Selama pengerjaan tugas akhir tersebut, penulis dibimbing oleh Bapak Ir. Wisnu Wardhana, M.Sc., Ph.D. dan Bapak Prof. Eko Budi Djatmiko, M.Sc., Ph.D.